Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport

Wonen langs het spoor

Gezondheidseffecten trillingen van treinen

RIVM rapport 2014-0096

I. van Kamp et al.

Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Wonen langs het spoor

Gezondheidseffecten van trillingen door treinen

RIVM Rapport 2014-0096

Colofon

I. van Kamp (Opdrachtcoördinator/Onderzoeker), RIVM
E.E.M.M. van Kempen (Onderzoeker), RIVM
H.J. van Wijnen (Onderzoeker), RIVM
E. Verheijen (Onderzoeker), dBvision
T. Istamto (Assistent in Opleiding), RIVM
O.R.P. Breugelmans (Onderzoeker), RIVM
E.M. Dirven (Onderzoekersmedewerker), RIVM
A. Koopman (Onderzoeker), Level Acoustics

Contact:
Irene van Kamp,

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van I&M KLG, in het kader van beleidsondersteuning geluid.

Dit is een uitgave van:

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Gezondheidseffecten van trillingen door treinen

In Nederland liggen circa 845.000 woonadressen met naar schatting 1.347.400 bewoners van 16 jaar en ouder binnen 300 meter afstand van het spoor. Ongeveer 20% van hen ondervindt ernstige hinder van de trillingen die treinen veroorzaken. Zij klagen over gevoelens van irritatie, boosheid en onbehagen. 's Nachts kan deze hinder zich uiten in ernstige verstoring van de slaap. Verreweg de meeste hinder en slaapverstoring wordt gerapporteerd in relatie met trillingen van goederentreinen.

Ongeveer 528.000 mensen van 16 jaar en ouder wonen binnen 300 meter van het spoor waar de trillingen voelbaar zijn, maar onder een V_{max} trillingssterkte van maximaal 3,2 liggen, een niveau dat in Nederland als grenswaarde wordt gehanteerd. Een groot deel van de hinder en slaapverstoring doet zich voor bij trillingsniveaus bij V_{max}-trillingssterktes beneden deze grenswaarde. Vanuit gezondheidsoptiek is het relevant om in het beleid ook aandacht te besteden aan deze trillingssterktes. Aangezien het om een groot aantal mensen gaat, valt hier veel gezondheidswinst te behalen.

Om de effecten van deze relatief lagere trillingsniveaus effectief te bestrijden zijn niet alleen maatregelen gewenst die de trillingen kunnen verminderen, maar is ook duidelijke communicatie nodig over factoren die, naast de trillingen, de hinder versterken. Gedacht kan worden aan de angst voor schade aan de woning en de verwachting dat de trillingen in de toekomst zullen toenemen. Het is van belang oog te hebben voor deze gevoelens en goed te communiceren over toekomstige ontwikkelingen aan het spoor, en mogelijke compensatiemogelijkheden.

Hoewel er al jaren klachten zijn, is nog onvoldoende onderzocht welke effecten trillingen door treinen hebben op de gezondheid van omwonenden en bij wie die zich voordoen. Om daar meer inzicht in te krijgen heeft het RIVM een vragenlijstonderzoek uitgevoerd onder 4927 mensen die binnen 300 meter van het spoor wonen. Dit onderzoek onderbouwt verdere regelgeving, maar een nadere uitwerking van de normstelling valt buiten de scope van dit rapport. Daarvoor zijn aanvullende gegevens over maatregelen en kosten nodig. In verband met de verwachte toename van het goederentreinverkeer op een aantal locaties wordt geadviseerd de gezondheidseffecten van trillingen door deze treinen te monitoren.

Trefwoorden: trillingen, railverkeer, geluid, regelgeving, gezondheid, welzijn

Abstract

Health effects of vibrations due to trains

In the Netherlands circa 845.000 residential addresses, with some 1.347.400 residents of 16 years and older, are located within 300 meter distance to a railroad track. About twenty percent of these residents experience severe annoyance from vibrations caused by trains. They complain about feelings of irritation, anger and discomfort. At night this annoyance can manifest itself in severe sleep disturbance. By far the largest part of annoyance and sleep disturbance is reported in relation to vibrations due to cargo-trains.

About 528.000 people live at addresses along the railroad where vibration can be perceived, but vibrations lie below the V_{max}-vibrations strength of at maximum 3,2. In the Netherlands this level is used as limit value. A large part of annoyance and sleep-disturbance is found below this limit value. From a public health point of view it is relevant to also address these levels of vibration below the maximum threshold. Because it concerns a large number of residents, much health gain can be achieved here.

In order to abate these relatively low levels of vibrations not only interventions are needed which reduce the vibrations but also clear communication is necessary about factors which amplify the annoyance on top of the vibration strength. One could think of fear of damage to the home and expectations that the level of vibration will increase in the future. It is important to be aware of these feelings and to communicate in a transparent manner about future developments and potential compensation measures.

Despite the fact that the complaints exist already for years, the health effects of vibration due to trains have rarely been studied among residents. In order to gain more insight in the type and size of these effects and in whom these do occur, a questionnaire survey was held among 4927 people living within 300 meters from a railroad track in the Netherlands. This study supports further guidelines for rail traffic related vibrations, but defining the norms falls outside the scope of this report. Hereto we need more information about measures and their costs. In view of the expected increase in the number of cargo-trains at some locations it is advised to monitor the health effects of these trains.

Keywords: vibration, rail traffic, noise, guidelines, health, wellbeing

Inhoud

Samenvatting

Aanleiding en doel
Naar aanleiding van een Kamermotie in 2010 (32123A, nr 124 van 29 juni van Jansen en Neppérus) bereidt het ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM) een besluit voor over eventuele verdere richtlijnen voor trillingen door treinverkeer en een handhavingsinstrumentarium voor trillingen langs het spoor. Voor het vaststellen van de inhoud van een richtlijn voor trillingen werd een gedegen gezondheidseffectschatting noodzakelijk geacht. In een recent gepubliceerd literatuuroverzicht (Van Kempen et al., 2013) is geconstateerd dat de kennis ontbreekt om tot effectieve normstelling en richtlijnen voor trillingen te komen; er is nog relatief weinig onderzoek gedaan naar de effecten van trillingen door treinen op de gezondheid. Om dit hiaat te dichten was het voorliggende vervolgonderzoek van het RIVM in eerste instantie gericht op het uitvoeren van een vragenlijstonderzoek onder omwonenden langs het spoor met als doel een landelijk beeld te verkrijgen van de ernst van de effecten in termen van hinder, slaapverstoring en andere gezondheidseffecten. Op basis van de aldus verkregen gegevens is een schatting gemaakt van het aantal mensen in Nederland woonachtig binnen 300 meter van het spoor dat ernstige hinder, slaapverstoring en gezondheidsklachten van trillingen door treinen ondervindt. Op basis van eerdere bevindingen is besloten om voor dit onderzoek het afkappunt bij 300 meter te leggen, waarbij het 250-300 meter gebied als control-gebied kan worden beschouwd. De survey levert op deze manier nieuwe inzichten ten aanzien van omvang belasting, blootstelling-effectrelaties en mogelijke determinanten anders dan trillingen, die kunnen dienen voor de onderbouwing van een adequate regelgeving. Het rapport beperkt zich tot een inventarisatie van deze aspecten ter onderbouwing van verdere regelgeving. Een nadere uitwerking van normstelling en regelgeving valt buiten de *scope* van dit onderzoek. De bevindingen van het onderzoek kunnen gebruikt worden voor een gezondheidskundige en economische afweging als aanvullende informatie over mogelijke maatregelen en de kosten daarvan beschikbaar zijn.

Vraagstelling
Het rapport behandelt de volgende onderzoeksvragen:
1. Wat is de omvang van (i) ernstige hinder door trillingen van treinen,(ii) ernstige slaapverstoring door trillingen van treinen, (iii) lage algemene gezondheid, en (iv) zelfgerapporteerd medicijngebruik in de Nederlandse bevolking van 16 jaar en ouder die binnen 300 meter van het spoor woont.
2. Welke blootstellingresponsrelaties kunnen worden afgeleid voor ernstige hinder door trillingen van treinen, ernstige slaapverstoring door trillingen van treinen, algemene gezondheid en medicijngebruik en de blootstelling aan trillingen door treinverkeer. Blootstelling wordt uitgedrukt in afstand, RMS en V_{max}. RMS is een trillingsmaat over langere periode en V_{max} verwijst naar de hoogste effectieve trillingssterkte.
3. Wat is de invloed van fysische, contextuele en persoonlijke factoren op de onder onderzoeksvraag 1 genoemde effecten (ernstige hinder door trillingen, ernstige slaapverstoring door trillingen, algemene gezondheid, en zelfgerapporteerd medicijngebruik).
4. Hoe kunnen de bevindingen uit 1, 2 en 3 gebruikt worden voor een doelmatigheidstoets en welke aanvullende bouwstenen zijn er nodig om de doelmatigheid van te nemen maatregelen – zowel fysiek als op vlak van communicatie - verder te toetsen.

Methode
Met een vragenlijst is informatie verkregen over hinder, slaapverstoring, en andere belevings- en gezondheidsaspecten en de determinanten hiervan. De deelnemers waren personen van 16 jaar en ouder die binnen 300 meter van het spoor wonen. Aan de bewoners van 16.000 adressen is een uitnodiging voor deelname aan het onderzoek gestuurd, nadat woningen waren geselecteerd op basis van de afstand van de woning tot het spoor, bouwjaar van de woning en het type bodem waarop de woning is gebouwd. Aanvullend is ook rekening gehouden met andere situationele factoren zoals de treinintensiteiten. Om vast te stellen in welke mate de deelnemers verschillen van de niet-deelnemers, is een non-respons onderzoek uitgevoerd onder een aselecte steekproef van alle niet-deelnemers.

De informatie verkregen met behulp van de vragenlijst werd aangevuld met gemodelleerde trillingssterktes en geluidniveaus, en informatie uit diverse registraties over situationele en contextuele factoren zoals het aantal en type treinen, snelheid van de treinen, bodemtype, bouwjaar van de woningen.

Respons
In totaal hebben 4927 personen (32%) een vragenlijst ingevuld. Uit een vergelijking van de deelnemers en niet-deelnemers blijkt dat er mogelijk sprake is geweest van onbedoelde selectie: personen die veel hinder door de trillingen van treinverkeer ondervinden, hebben vaker aan het onderzoek meegedaan dan niet-gehinderden. Dit heeft tot gevolg dat de deelnemers niet helemaal representatief zijn voor de totale steekproef, met een mogelijke lichte vertekening van de resultaten tot gevolg. Bij de toepassing van de hindercijfers uit de survey op de totale populatie moet daarom rekening gehouden worden met een mogelijke overschatting van het percentage ernstig gehinderden, maar ook kan er sprake zijn van een onderschatting: de vertekening kan dus beide kanten op gaan. Door de lage respons van het non-respons onderzoek (29%) is het helaas niet mogelijk om de invloed van de selectieve non-respons te kwantificeren.

Blootstelling
In dit onderzoek is uit praktische overwegingen gekozen om de trillingssterkte uitsluitend met berekeningen te bepalen. Hiervoor is de Standaard Rekenmethode voor Trillingen (SRM-T) gebruikt, die enkele jaren geleden werd ontwikkeld. In Nederland liggen in 2013 circa 845.000 woonadressen binnen 300 meter afstand van het spoor. Op basis van de berekening met het SRM-T-model wordt geschat dat bij ongeveer 40% van deze adressen de maximale trillingssterkte hoger is dan de voelbaarheidsgrens van 0,1. Naar schatting ligt bij bijna 1% van alle adressen de maximale trillingssterkte boven de maximaal toelaatbare grenswaarde van 3,2, die opgenomen is in de SBR- richtlijn voor zowel bestaande als nieuwe situaties. Ten aanzien van de betrouwbaarheid van de schattingen van de blootstelling moet rekening worden gehouden met het feit dat er gewerkt is met generieke modelparameters. Lokaal kan de situatie afwijken. Dit model is weliswaar op dit moment het beste dat beschikbaar is, maar de mogelijkheid van misclassificatie van de blootstelling kan niet worden uitgesloten. Zie ook de toelichting in Bijlage 8 waarin de omvang van de afwijking voor een individuele woning op maximaal factor 10 wordt geschat, als gevolg van de grote variatie in individuele omstandigheden (constructie woning, lokale bodem etc.). Voor een evaluatie van de blootstelling in Nederland hoeft dit echter geen bezwaar te zijn, omdat er wordt gemiddeld over grote aantallen adressen.

Omvang van de effecten
Op basis van de resultaten van het vragenlijstonderzoek wordt het aantal mensen van 16 jaar en ouder dat in 2013 ernstige hinder –zoals irritatie, boosheid en onbehagen – ondervond van trillingen door treinen geschat op gemiddeld 20% van alle mensen van 16 jaar en ouder woonachtig binnen 300 meter van het spoor. Verreweg de meeste hinder wordt daarbij gerapporteerd in relatie tot trillingen van goederentreinen.

Op basis van de resultaten van het onderzoek is geschat dat in 2013 16% van de personen van 16 jaar en ouder die in Nederland binnen 300 meter van het spoor wonen, ernstige slaapverstoring door trillingen van goederentreinen ondervindt. De omvang van ernstige slaapverstoring door trillingen van reizigerstreinen wordt geschat op gemiddeld 4%.

De zelfgerapporteerde ervaren gezondheid is in het onderzoeksgebied wat beter dan op grond van landelijke referentiecijfers van het Centraal Bureau voor de Statistiek mag worden verwacht. In totaal ervaart gemiddeld 81% (CBS 76%) van de personen van 16 jaar en ouder die tot op 300 meter van een spoorlijn wonen de gezondheid als (zeer) goed. Slechts 3,5% ervaart zijn of haar gezondheid als (zeer) slecht. Dit hangt waarschijnlijk samen met de demografische kenmerken van de deelnemers.
Het zelfgerapporteerde gebruik van medicijnen is in het onderzoeksgebied juist weer wat hoger dan op grond van landelijke referentiecijfers van het Centraal Bureau voor de Statistiek mag worden verwacht. Dit geldt voor het gebruik van medicijnen voor hart, bloedvaten of hoge bloeddruk, en het gebruik van slaap- en kalmeringsmiddelen. Het gebruik van zowel antidepressiva als medicijnen voor astma en CARA lijkt daarentegen weer iets lager te liggen. Voor deze verschillen zijn geen duidelijke verklaringen.

Blootstelling-effectrelaties
Op basis van de survey-data was het mogelijk om blootstelling-effectrelaties af te leiden voor en ernstige hinder en ernstige slaapverstoring, afhankelijk van tussen de blootstelling aan trillingssterktes (uitgedrukt in RMS en V_{max}) door treinverkeer en de afstand tot het spoor en ernstige hinder en ernstige slaapverstoring. Voor slecht ervaren gezondheid en medicijngebruik zijn geen directe verbanden gevonden met trillingen of de afstand tot het spoor. Door de hoge onderlinge correlatie tussen de V_{max} en de RMS (r >0,70) is het niet goed mogelijk onderscheid te maken tussen de mogelijke verschillen in effecten van deze maten op de gerapporteerde hinder of slaapverstoring.

De rol van andere factoren
Naast de trillingssterktes spelen aspecten als de verhouding tussen reizigers- en goederentreinen, dag- en nachtbelasting en het type bebouwing rond het spoor een belangrijke rol. Ook de houding ten opzicht van treinverkeer, angst voor schade aan de woning en de (visuele) waarnemingen van trillende objecten zijn van invloed op hoeveel hinder en verstoring mensen ervan ondervinden, net als verwachtingen over toekomstige niveaus en acceptatie van de trillingen. De gevonden verbanden tussen de blootstelling aan trillingen van de treinen en de gerapporteerde hinder en slaapverstoring blijken los te staan van het geluid dat door het treinverkeer wordt veroorzaakt en de hiermee samenhangende geluidhinder.

Compensatie
Het instellen van een onafhankelijke commissie die regelmatig de situatie op het gebied van milieu peilt en de resultaten daarvan openbaar maakt, voorzieningen aan de woning tegen het geluid en trillingen van treinen en tot slot een fonds voor mensen die in de buurt van het spoor wonen, waaruit eventuele schade ten gevolge van treinverkeer kan worden betaald worden het vaakst (70%-77%) genoemd als compensatiemaatregelen voor de overlast door trillingen.

Conclusies & betekenis voor beleid
1. De resultaten van dit onderzoek wijzen op een ongunstig effect van blootstelling aan trillingen van treinverkeer op hinder en slaapverstoring.
2. Op basis van het onderzoek wordt geschat dat de meeste mensen die binnen 300 meter van het spoor wonen zijn blootgesteld aan trillings-sterktes die onder de voelbaarheidsgrens van 0,1 mm/s liggen.
   Naar schatting hebben 528.000 personen te maken met een blootstelling van 0,1-3,2 mm/s (V_{max}), het bereik waarin trillingen relatief veel overlast kunnen veroorzaken. Een relatief klein deel van de bevolking, gemiddeld zo'n 11.000 personen, wordt naar schatting blootgesteld aan niveaus boven de grenswaarde van 3,2 mm/s (V_{max}).
3. Het aandeel van de bevolking van 16 jaar en ouder wonend binnen 300 meter van het spoor dat ernstige hinder of slaapverstoring door de trillingen ervaart is relatief hoog. Van de personen van 16 jaar en ouder wonend binnen 300 meter van het spoor, en ernstig gehinderd door trillingen van treinverkeer zijn naar schatting 6.000 personen (2%) blootgesteld aan niveaus van meer dan 3,2 mm/s (Vmax); naar schatting 22.000 personen (8%) van deze groep zijn blootgesteld aan niveaus van 1,6 tot 3,2 mm/s (Vmax); nog ongeveer 128.000 ernstig gehinderden (49%) zijn blootgesteld niveaus van 0,1 tot 1,6 mm/s, terwijl 107.000 ernstig gehinderden (41%) onder de voelbaarheidsgrens van 0,1 mm/s (Vmax) wonen. Voor het beleid betekent dit dat, teneinde de trillingsoverlast en gezondheidseffecten te beperken, het niet voldoende is om aan de Bts-grenswaarde van 3,2 mm/s te voldoen. Ook en juist bij de middengroep met trillingssterktes 0,1-1.6 mm/s is veel gezondheidswinst te behalen.
4. Het zijn vooral de goederentreinen die als hinderlijk (23%) en verstorend worden ervaren (16%) en interventies gericht op goederenverkeer lijken daarom het meest effectief.
5. De gevonden verbanden tussen de blootstelling aan trillingen van de treinen en de gerapporteerde hinder en slaapverstoring kunnen niet verklaard worden door het geluid van treinverkeer, dat op zich ook hinder en slaapverstoring kan veroorzaken.
6. Op basis van de bevindingen kan geen voorkeur voor een blootstellings-indicator of -indicatoren gegeven worden. De drie maten hangen vergelijkbaar samen met effecten. Zij hangen onderling sterk samen en bieden theoretisch een vergelijkbare beschermingsgraad bij een steady state situatie. Bij een sterke toename van treinfrequentie wordt verwacht dat V_{max} en RMS meer uit elkaar gaan lopen. RMS is in tegenstelling tot V_{max} ook afhankelijk van het aantal treinpassages dat trillingen veroorzaakt. Vervolgonderzoek is nodig om de effecten hiervan in kaart te brengen en te kwantificeren.
7. Interventies zouden zich primair op de bron moeten richten, maar er zou ook ingezet moeten worden op contextuele en persoonlijke factoren zoals houding, acceptatie, angst voor schade en te verwachten trillingssterktes in de toekomst. De door omwonenden aangegeven voorkeur voor vormen van compensatie bieden hiervoor belangrijke aanknopingspunten.

8. De gevonden blootstelling-effectrelaties zouden kunnen worden toegepast om de effectiviteit en doelmatigheid van maatregelen door te rekenen en de uitkomsten met elkaar te vergelijken op landelijk niveau. Ook lokaal zouden aan de hand van de relaties scenario's vergeleken kunnen worden, maar kwantificatie is in dat geval veel lastiger, omdat lokale factoren van grote invloed kunnen zijn op de hinder die ondervonden wordt. Het gaat dan om maatregelen die rechtstreeks op de blootstelling van invloed zijn en om maatregelen die een of meerdere parameters beïnvloeden die vervolgens weer de RMS of V_{max} beïnvloeden. De gevonden blootstelling-effectrelaties kunnen in de toekomst ook gebruikt worden om de effecten van veranderingen in aantallen treinen te vergelijken en groepen gebaseerd op ProRail prognoses (vooruitgang, achteruitgang, blijft gelijk) bij beschikbaar komen van data uit een of meer herhaalmetingen.
9. En tot slot: de resultaten uit dit onderzoek zijn alleen bedoeld om op populatieniveau uitspraken te doen: op basis hiervan kunnen geen conclusies worden getrokken over individuele woningen, mensen of situaties.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Naar aanleiding van een Kamermotie (23123A, nr 124 van 29 juni van Jansen en Neppérus) bereidt het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM) op dit moment een besluit voor over eventuele verdere richtlijnen voor trillingen door treinverkeer en een nalevingsinstrumentarium voor trillingen langs het spoor. Voor het vaststellen van de hoogte van een norm voor trillingen is een gedegen gezondheidseffectschatting noodzakelijk. Hiertoe werd door het RIVM de laatste stand van zaken weergegeven in een review [1] met betrekking tot de effecten van trillingen en (laagfrequent) geluid door treinen op gezondheid en welzijn. Daarbij is onderzocht wat bekend is uit Nederlandse en Europese literatuur over de effecten van trillingen door treinen, de niveaus waarboven deze effecten optreden en contextuele en persoonlijke factoren die mede van invloed zijn op deze effecten. Ook is onderzocht welke blootstelling-responsrelaties beschikbaar zijn, die de relatie tussen trillingen door treinen en gezondheids- of welzijnseffecten beschrijven. Er werd nagegaan of en hoe de beschikbare blootstelling-effectrelaties gebruikt kunnen worden voor een schatting van de omvang van de effecten van trillingen door treinverkeer in Nederland.

Op basis van de review werd geconcludeerd dat er nog geen eenduidige conclusie te trekken is over welke maat voor de blootstelling aan trillingen nu het beste is. Uit de verkenning van de bestaande kennis bleek dat feitelijk op alle elementen, die nodig zijn voor een onderbouwde regelgeving en normering op het gebied van trillingen, kennishiaten zijn aan te wijzen. Het gaat dan zowel om aspecten aan de blootstellings-, als om aspecten aan de effectkant, en de relatie tussen beide. Ook ontbreekt vooralsnog betrouwbare informatie over mogelijke maatregelen op het fysieke vlak, en in de sfeer van communicatie. Hetzelfde geldt voor de kosten ervan en de baten van vermeden effecten en de inzet van maatregelen bij verschillende normniveaus [1].

Vlak na het uitkomen van de review werden ook de resultaten van het Europese project ‘Attentuation of ground-borne vibration affecting residents near freight railway lines (acronym: CargoVibes)’ bekend [2]. In dit project is met behulp van een heranalyse van data afkomstig van acht studies (N=4490) uit Nederland, Polen, Duitsland, Groot-Brittannië, Noorwegen, Japan en de Verenigde Staten en Canada, onderzocht in hoeverre de blootstellings- maten($V_{d,max}$, RMS en VDV) de gevonden variatie in blootstelling-effectrelaties tussen de studies kon verklaren (voor omschrijving zie Bijlage 1 en Bijlage 8). Deze heranalyse stelde de onderzoekers in staat om situaties met verschillende aantallen treinen te ’poolen’. Daardoor konden de V_{max} en RMS onafhankelijk bestudeerd worden en kon voor het eerst de voorspellende waarde van de verschillende indicatoren vergeleken worden (zie verder paragraaf 2.2). De keuze voor RMS is in de eerste plaats gemaakt omdat het een internationale maat is en beter aansluit bij andere studies. RMS lijkt sterk op de in de Bts gehanteerde V_{per} en conclusies rond RMS zijn vrijwel zeker ook van toepassing op V_{per}. Belangrijk verschil is dat de duur van de passages in V_{per} niet ‘meedoet’. RMS en V_{max} zijn echter beter van elkaar te scheiden dan V_{per} en V_{max}, en meer bruikbaar voor onderzoek.
Op grond van de beschikbare kennis en de geconstateerde kennishiaten werd het vervolgprogramma van het RIVM verder vormgegeven (zie ook Plan van Aanpak (PvA), I&M, in Van Kempen et al.,2013 [1]). Dit omvat:

1. de verdere toepassing van een rekenmodel op basis van verzamelde gegevens over het aantal woningen rond het spoor, het bouwjaar van deze woningen en de bodemcondities van de gebieden waar deze woningen gelegen zijn. Met behulp van dit model kan de blootstelling aan trillingen door treinverkeer op populatieniveau worden geschat;
2. een survey langs het spoor met als primair doel een landelijk beeld te verkrijgen van reacties op treingerelateerde blootstelling (geluid en trillingen) en als secundair doel om reacties op een veranderend aantal (goederen)treinen te monitoren. Dit onderzoek werd in het najaar van 2013 uitgevoerd;
3. een verfijning van de binnen het EU-project CargoVibes verrichte heranalyse op het Kennis Bestand Verstoring (KBV) in samenwerking met TNO, met als doel blootstelling-effectrelaties af te leiden op basis van een aantal beschikbare indicatoren zoals afstand, aantal treinen en het percentage goederentreinen en het percentage ernstige hinder [3].

De uitkomsten van deze deelonderzoeken vormen samen de bouwstenen voor verdere regelgeving en een gezondheidskundige evaluatie in termen van omvang, blootstelling-effectrelaties en determinanten anders dan trillingen.

1.2 Vraagstelling

In deze rapportage worden de resultaten beschreven van de in 2013 uitgevoerde survey (punt 2 boven). Het rapport beperkt zich daarbij tot het inventariseren van de hierboven genoemde aspecten ter onderbouwing van verdere regelgeving. Een nadere uitwerking of advies over regelgeving valt buiten de scope van dit onderzoek en deze rapportage.

In dit rapport worden de volgende onderzoeksvragen behandeld:

a. **Omvang**: Wat is de omvang van (i) ernstige hinder door trillingen van treinen, (ii) ernstige slaapverstoring door trillingen van treinen, (iii) lage algemene gezondheid, en (iv) zelfgerapporteerd medicijngebruik in de Nederlandse bevolking van 16 jaar en ouder die binnen 300 meter van het spoor woont?
b. **Blootstellingseffect**: Welke blootstelling-effectrelaties kunnen worden afgeleid voor ernstige hinder door trillingen van treinen, ernstige slaapverstoring door trillingen van treinen, algemene gezondheid en medicijngebruik en de blootstelling aan trillingen door treinverkeer (uitgedrukt in afstand, RMS en V_{max})?
c. **Determinanten**: Wat is de invloed van fysische, contextuele en persoonlijke factoren op de onder onderzoeksvraag a genoemde effecten (ernstige hinder door trillingen, ernstige slaapverstoring door trillingen, algemene gezondheid, en zelfgerapporteerd medicijngebruik)?
d. **Gezondheidseffectschatting**: Hoe kunnen de bevindingen uit a, b en c gebruikt worden voor een doelmatigheidstoets en welke aanvullende bouwstenen zijn er nodig om de doelmatigheid van te nemen maatregelen – zowel fysisch als op vlak van communicatie – verder te toetsen?

Bij de beantwoording van deze vragen wordt niet alleen gebruikgemaakt van de gegevens uit het vragenlijstonderzoek dat in 2013 uitgevoerd werd, maar ook van gemodelleerde blootstellingsgegevens, en informatie over situationele en contextuele factoren uit verschillende bestanden zoals de geluidblootstelling, indicatoren voor duur van de blootstelling (lengte en snelheid van de treinen),

het aantal (trillings)gebeurtenissen (events) en het tijdstip van de blootstelling en bouwtechnische aspecten.
Het vragenlijstonderzoek werd uitgevoerd in het najaar van 2013 onder bijna 5000 van de 16.000 genodigde personen van 16 jaar en ouder die tot 300 meter van een spoorlijn in Nederland wonen. Doel van het vragenlijstonderzoek is om een landelijk beeld te geven van reacties op trillingen en geluid van omwonenden langs het spoor. De gegevens verkregen uit het vragenlijstonderzoek dienen tevens als nulmeting (baseline) voor een monitorproject in een panelstudie gebaseerd op drie subgroepen: respondenten waarbij een toename, afname of gelijkblijvend trillingssterkte verwacht wordt, idealiter op basis van de meest recente prognoses van ProRail**.** Dit betekent dat op basis van de uitkomsten geen uitspraken gedaan worden over lokale situaties of specifieke tracés.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 gaan we in op de stand van de kennis op het gebied van trillingen van treinen en gezondheidseffecten en de invloed van factoren anders dan trillingen. In hoofdstuk 3 worden de onderzoeksopzet en de gebruikte methodes van het vragenlijstonderzoek ‘Wonen langs het spoor’ verantwoord. Aan de orde komen studiedesign, steekproeftrekking, blootstelling, opbouw van de vragenlijst (voor details zie Bijlage 3 en 4) en een samenvatting van de analysemethoden (voor details zie Bijlage 6). Na een omschrijving van het veldwerk worden achtereenvolgens de kenmerken van de deelnemers besproken en worden deze vergeleken met mensen die niet hebben meegedaan aan het onderzoek. Daarna komt de modellering van de blootstelling aan de orde en wordt aangegeven voor welke factoren bij de analyse gewogen is. De gehanteerde statistische analyse en weging wordt besproken in Bijlage 6. Hoofdstuk 4 bespreekt de resultaten van het onderzoek, met om te beginnen een schatting van de blootstelling aan trillingen voor de totale populatie woonachtig binnen 300 meter van het spoor. Hierbij wordt ingegaan op de huidige situatie langs het spoor. Voor een prognose voor de komende periode ontbreken de nodige betrouwbare/openbare gegevens over veranderingen aan het spoor en geplande nieuwbouw. In hoofdstuk 5 worden tot slot de belangrijkste conclusies van het onderzoek beschreven. Het hoofdstuk behandelt ook de aanknopingspunten voor het beleid en beschrijft wat er nodig is om de in dit onderzoek gevonden relaties toe te passen in een gezondheidseffectschatting en kosten-batenanalyse.

2 Stand van de kennis

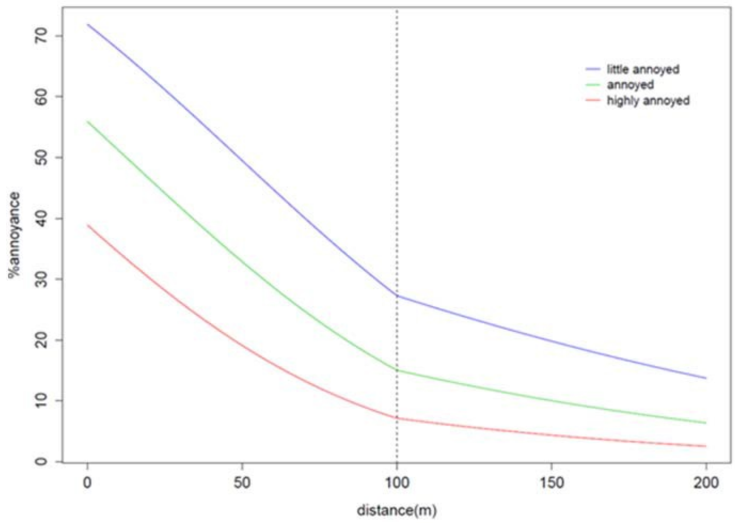
Het vragenlijstonderzoek vormt een belangrijk onderdeel van het in de voorgaande paragrafen samengevatte ‘PvA trillingen’ en werd noodzakelijk geacht, omdat Nederlandse hindercijfers voor trillingen van treinen (in combinatie met geluid) zeer beperkt beschikbaar zijn[1] (zie ook hoofdstuk 2). Internationale cijfers [1] zijn eveneens beperkt, verouderd en niet zondermeer toepasbaar op de Nederlandse situatie. Juist bij treinen is dit het geval omdat de mate van blootstelling en het feit of mensen er last van ondervinden in sterke mate bepaald wordt door geografische omstandigheden, woningtypen en kenmerken als type vloer en het aantal verdiepingen.

In de volgende paragrafen wordt de stand van zaken weergegeven op het gebied van blootstelling aan trillingen door treinen en de effecten hiervan. Ook wordt kort samengevat wat bekend is over de sociale en fysieke factoren die hierbij een rol spelen. Op basis van deze informatie is de opzet van het onderzoek nader bepaald en zijn beslissingen genomen over de in de vragenlijst (zie Bijlage 3) op te nemen vragen. Hiervoor zijn de volgende bronnen gebruikt: de aanvullende meta-analyse van TNO [3], een notitie van TNO [4] over de waarde van verschillende blootstellingsmaten met betrekking tot trillingen in het kader van de discussie rond de Beleidsregel trillinghinder spoor (Bts 1. 2. 3) [5]; het in 2013 door RIVM gepubliceerde review over de gezondheidseffecten van trillingen door treinen [1] en tot slot de uitkomsten van de CargoVibes EU-studie [2].

2.1 Meta-analyse TNO: blootstelling-effectrelatie afstand tot het spoor en percentage ernstige hinder

De meta-analyse van TNO [3], die in opdracht van het RIVM werd uitgevoerd, bestond uit een analyse op een gepoolde dataset van een aantal internationale studies (N=8) en maakte gebruik van indicatoren als afstand tot het spoor, aantallen treinen en typen treinen. Dit was nodig omdat trillingen van treinen vooral lokaal voorkomen en de blootstellingsniveaus nog niet systematisch in kaart zijn gebracht. Het was daarom niet mogelijk deze blootstellingsgegevens af te leiden uit bestaand onderzoek. Resultaten van de meta-analyse indiceren dat tot 100 meter van het spoor de relatie tussen afstand en hinder zeer steil is, om na 100 meter sterk af te vlakken: bij 100 meter van het spoor neemt circa 45% van de mensen de trillingen waar, is 15% gehinderd, en is 7% ernstig gehinderd.

[1] Het aantal (ernstig) gehinderden kan ook bepaald worden met vragenlijstonderzoeken. In 1977, 1987, 1993, 1998, 2003 en 2008 hebben TNO en/of RIVM dergelijk onderzoek (de Hinderinventarisatie) uitgevoerd. Het belangrijkste doel van deze herhaalde metingen is het monitoren van de landelijke verspreiding en ernst in termen van hinder en slaapverstoring inclusief de trend in tijd. De landelijke hindercijfers voor trillingen afgeleid uit de Hinderinventarisatie hebben echter betrekking op een zeer kleine groep mensen die in de buurt van het spoor woont. Op nationaal niveau vallen de effecten, evenals dat voor vliegverkeer of windturbines het geval is, in het niet bij andere bronnen, maar dichter bij de spoorlijn c.q. op lokaal niveau zijn de effecten aanzienlijk.



Figuur 2.1 Blootstelling-effectrelatie met % LA (in blauw), % A (in groen) en % HA (in rood), gebaseerd op de stapsgewijze regressieanalyse met de knop voor de 'spline' functie geoptimaliseerd bij 100 m en gebaseerd op alle data met afstand ≤ 200 (Bron: [3])

Het aantal treinen blijkt een sterke voorspeller te zijn van de waarneming van trillingen, terwijl het percentage goederentreinen de predictie van hinder niet verbeterde in tegenstelling tot wat anderen vinden (zie bijvoorbeeld [6]). Bestudering van de blootstelling-effectrelatie toonde aan dat ook bij 200 m de curve nog niet het nulpunt bereikt, en dat ook op grotere afstand, mensen trillinghinder kunnen ondervinden. Met dit gegeven is rekening gehouden bij de keuze van het studiegebied.

2.2 Voorspellende waarde van verschillende blootstellingsmaten

In het kader van de discussie rond de Beleidsregel Trillingen Spoor [5] is door TNO aanvullend gekeken [4] naar de waarde van verschillende blootstellingsmaten voor trilling bij het voorspellen van het percentage ernstige hinder door trillingen van treinen. Hierbij werd gebruikgemaakt van een eerder uitgevoerde meta-analyse op zeven internationale datasets in het kader van het EU-project CargoVibes [7]. In het totaal zaten er 4129 respondenten in het bestand en werd er voor verschillende blootstellingsmaten een blootstelling-effectrelatie afgeleid voor hinder door trillingen van treinen. Aangezien de oorspronkelijke indicatoren voor trillingen per studie verschilden, zijn deze via een omrekenmethode[2] in drie verschillende indicatoren omgezet:

[2] Op basis van beargumenteerde aannames over de relatie tussen maximale en gemiddelde trillingswaarden, de relatie tussen acceleratie en snelheden, en met inachtneming van de vermoedelijke duur van passages en aantallen treinen. De acceleratie is gewogen met de ISO-curve voor acceleratie, snelheid met de ISO-curve voor snelheid. Door de weging wordt het verschil tussen snelheid en versnelling geneutraliseerd.

- $V_{d,max}$[3]: maximale trillingssterkte in snelheid (grotendeels volgens DIN 4150 [8] en SBR-B [9], maar frequentieweging per richting volgens ISO 2631-1 [10, 11]).
- RMS: tijdgemiddelde trillingssterkte (root-mean-square acceleratie over 24 uur, met frequentieweging per richting volgens ISO 2631-1 [10, 11]).
- VDV: vibration dose value (root-sum-square acceleratie over 24 uur volgens BS 6472, maar frequentieweging per richting volgens ISO 2631-1 [10, 11]).

Voor elk van deze indicatoren is vervolgens de relatie met hinder bepaald en is in kaart gebracht wat de verwachte hinder is bij een bepaalde blootstelling (voor gebruikte methode zie [12]). Resultaten toonden aan dat, ondanks kleine verschillen tussen de indicatoren in de voorspelling van de hinder (RMS scoort iets beter dan de andere twee), de verklaarde variaties in dezelfde orde van grootte zijn. De voornaamste reden hiervoor is waarschijnlijk dat, zelfs over verschillende studies heen, de indicatoren sterk samenhangen. Op basis hiervan kan dus niet geconcludeerd worden dat een indicator die naast trillingssterkte ook de aantallen en duur van de passages reflecteert een beduidend betere voorspeller is dan een indicator die de maximale trillingssterkte weergeeft. Dit suggereert dat de verschillende indicatoren met bijbehorende hinderspecificatie en grenswaarden ongeveer dezelfde mate van bescherming bieden. Wel wordt erop gewezen dat dit niet langer opgaat bij een sterke toename van het aantal treinen of de duur van de passages, omdat dit de RMS sterk zal beïnvloeden maar niet de $V_{d,max}$. Hypothetisch kan gesteld worden dat V_{max} een goede indicator is voor de waarneembaarheid van trillingen (drempelwaarde) terwijl RMS en VDV waarschijnlijk een betere indicatie zijn voor hinder en andere (gezondheids)effecten. Dit werd onder andere bevestigd in de meta-analyse van TNO voor afstand [7].

2.3 Voorspellende waarde van andere factoren dan trillingen

Naast de trillingssterkte zijn andere factoren mede van invloed op de hinder. Deze factoren worden met betrekking tot geluid meestal aangeduid als contextuele en persoonlijke factoren [13]. Daarbij onderscheiden we de volgende groepen van factoren:

- situationele factoren (bijvoorbeeld: dag/nacht ratio, ratio reizigers/goederen[4], aantal treinpassages, aantrekkelijkheid van de buurt, geluidniveaus, bodemsoort[5], bouwconstructie woning, rammelen (*rattle*));
- demografische en (sociaal)economische factoren (bijvoorbeeld leeftijd, geslacht, sociaaleconomische status (SES), opleiding);

[3] Het verschil tussen V_{dmax} , of ook wel $V_{dir,max}$, en V_{max} is de gebruikte weging voor de menselijke perceptie. Bij V_{max} is er één wegingsfunctie voor alle drie de trillingsrichtingen, zoals vastgelegd in de DIN 4150 en de SBR B. Bij V_{dmax} is de weging richtingsafhankelijk: een wegingsfunctie voor de horizontale richting en een voor de verticale richting, zoals vastgelegd in de ISO 2631, uitgaande van staande en zittende personen. De wegingsfunctie van de DIN en de SBR is een benadering, een gemiddelde van de twee richtingsafhankelijke functies van de ISO. De V_{dmax} wordt dus gezien als een iets nauwkeuriger maat voor de blootstelling. Horizontale trillingen worden met V_{max} tot een factor 3 overschat, terwijl verticale trillingen boven de 12 Hz met een factor 2 worden onderschat. Dit is met name van belang bij gebouwen met vier verdiepingen of meer, en bij veel lichte oudbouw haaks op het spoor. De weging (in een richting) is ooit om praktische, meettechnische redenen ingevoerd, maar deze geldt in 2014 in feite niet meer.

[4] Reizigers- versus goederentreinen: bij goederenverkeer is de zogenoemde 'onafgeveerde' massa van belang. Bij draaistellen van goederentreinen is die groter dan bij reizigerstreinen. Dit is overigens ook bij sommige zwaardere en stillere reizigerstreinen (bijvoorbeeld de IRM-treinen = dubbeldekkers). Ook is de onderhoudstoestand van goederentreinen veel gevarieerder dan bij reizigerstreinen (naast vlakke plaatsen ook wiel-on-rondheid, uitlijning assen, etc.).

[5] Op veenbodem komen in het algemeen de hoogste trillingsniveaus voor. Zie ook hoofdstuk 4 over blootstellingen en toelichting van het SRM-T-model. In Nederland worden overigens ook bovengemiddelde trillingsniveaus gemeten op gelaagde bodems in riviergebied.

- persoonlijke factoren (bijvoorbeeld angst voor schade aan de woning, angst voor onveilige stoffen, gezondheidsschade van trillingen, acceptatie); en
- sociale factoren (bijvoorbeeld houding ten aanzien van de trillingsbron of verantwoordelijken, groei en huidig en toekomstig beleid, houding ten aanzien van reizigers- en goederentreinen in termen van noodzaak en milieuvriendelijkheid, verwachtingen over de toekomst van het spoor).

Over de invloed van deze factoren op het optreden van hinder door trillingen van treinverkeer is nog weinig bekend. Uit geluidonderzoek is naar voren gekomen dat situationele, persoonlijke en sociale factoren meer invloed op geluidhinder hebben dan demografische factoren [13]. Voor hinder door trillingen van treinen wordt dit bevestigd door de CargoVibes uitkomsten [2].

Situationele factoren
Onder de situationele factoren vallen aspecten als duur van de blootstelling (lengte van treinen), het aantal trillingsgebeurtenissen (events) en het tijdstip van de blootstelling en bouwtechnische aspecten. Niet alleen het aantal treinpassages maar ook de soort treinen worden verondersteld een rol te spelen bij de hinder. Zo worden hogesnelheidstreinen en goederentreinen als hinderlijker ervaren dan reizigerstreinen, hoewel onderzoeksresultaten in deze niet eenduidig zijn [1]. In de meta-analyse van Janssen et al. (2013) voegde het type trein niets toe aan de voorspelling van hinder. Uit onderzoek van Miedema en De Jong [6] bleek echter dat het *waarnemen* van trillingen door treinen in eerste instantie sterk toenam met een toename van het aantal treinpassages. Deze toename vlakte weer af bij een groter wordend aantal treinpassages of een hoog percentage goederenvervoer (NB: het gaat hier om waarneming en niet om hinder). Of de hinder door goederentreinen te maken heeft met fysieke verschillen ten opzichte van reizigerstreinen (type vering etc.) of met het tijdstip waarop ze rijden (vaker ‘s nachts), dan wel met de lengte van de treinen en gerelateerde duur van de passages, kan op basis van bestaande evidentie niet gezegd worden. Ook de constructie van de woning is van belang. Uit een studie van Öhrström en Skanberg [14] bleek bijvoorbeeld dat mensen in huizen met een houten constructie meer hinder door trillingen ondervonden dan mensen die in huizen met een betonnen constructie woonden. Ook ondervonden mensen in een villa of rijtjeshuis meer hinder door trillingen van de treinen dan mensen die in een flatgebouw woonden.

In relatie tot hinder door trillingen van treinen is in het Europese project CargoVibes recent nog een aantal andere situationele factoren onderzocht. Het ging dan om factoren die te maken hadden met de waarneming van de treinpassages anders dan door de trillingen: uitzicht op de spoorlijn, het waarnemen van het geluid van de treinen en gerammel van voorwerpen in huis. Uit de analyses bleek dat vooral het waarnemen van het geluid van de treinen en het gerammel van invloed waren op de gerapporteerde hinder door trillingen [2]. Het hebben van uitzicht op de spoorlijn bleek niet altijd van invloed op de gerapporteerde hinder te zijn. Dat ook geluid een rol kan spelen, blijkt wel uit de resultaten van een aantal studies, dat de gecombineerde effecten van blootstelling aan trillingen en geluid van treinverkeer heeft onderzocht. De resultaten over een cumulatie-effect zijn overigens niet eenduidig; soms treedt versterking op [15], terwijl andere studies aantoonden dat geluid de trillingssterktes juist kan maskeren [14, 16, 17].

Sociale en persoonlijke factoren
De invloed van persoonlijke factoren in relatie tot hinder door trillingen van treinen is niet of nauwelijks onderzocht. Een belangrijke factor in relatie tot

geluid is geluidgevoeligheid: een toestand van het individu die een verhoogde reactie op geluid veroorzaakt [18]. Resultaten in verband met trillingen leverden geen eenduidig verband op tussen trillinggevoeligheid en hinder (zie bijvoorbeeld [19, 20]). In de vragenlijst die is afgenomen bij de deelnemers van studies in het CargoVibes-project [2] werd aan mensen gevraagd of ze zichzelf tolerant ten aanzien van trillingen achten. De scores bleken niet of nauwelijks voorspellende waarde te hebben voor hinder. Daarnaast blijkt uit onderzoek dat sommige mensen bezorgd zijn over effecten die direct of indirect met de trillingen samenhangen zoals 'bezorgdheid over schade aan de woning'. Uit de resultaten van het project 'Human Response to Vibration in Residential Environments' van de Universiteit van Salford (voortaan aangeduid als het HRVRE-project) [21] bleek, zoals verwacht, dat naarmate de blootstelling aan trillingen door treinverkeer groter werd, de fractie deelnemers dat bezorgd was over schade aan de woning door trillingen, groter werd. Men maakte zich dan vooral zorgen over effecten op de constructie van de woning; over de aanblik van hun woning en de waarde van de woning maakte men zich aanzienlijk minder zorgen. Zoals verwacht bleek 'vrees voor schade aan de woning' sterk samen te hangen met de gerapporteerde hinder door trillingen door treinen [20]. Ook in CargoVibes werden effecten gevonden op hinder van bezorgdheid voor schade aan het huis [2]. Uit geluidonderzoek is gebleken dat mensen die een negatieve houding ten opzichte van de geluidbron en/of de overheid hebben, vaker ernstig gehinderd zijn (zie bijvoorbeeld [22, 23]). Ook de verwachting dat de geluidsituatie in de toekomst zal verslechteren blijkt van invloed te zijn op de ervaren hinder. In relatie tot hinder door trillingen van treinen is ook naar de houding ten opzichte van de bron gekeken: in het Europese project CargoVibes bleek dat mensen die vonden dat goederentreinen milieuvriendelijk waren en noodzakelijk minder hinder rapporteerden [2].

Demografische factoren

De invloed van demografische factoren op hinder door trillingen van treinen is niet of nauwelijks onderzocht. In het Europese project CargoVibes is de invloed van geslacht, leeftijd, opleiding, arbeidsstatus, woonduur en het al dan niet eigenaar zijn van de woning, wel onderzocht. Uit de analyses bleek dat, evenals bij geluid, de invloed van demografische factoren op hinder verwaarloosbaar is, met uitzondering van huizenbezit: mensen met een koopwoning rapporteerden vaker ernstige hinder [2]. Bij andere uitkomstmaten zoals slaapverstoring en gezondheidsindicatoren spelen demografische kenmerken wel een rol, zoals we onder andere weten uit geluidstudies (zie bijvoorbeeld [24, 25]).

2.4 Gezondheidskundige evaluatie en doelmatigheidsanalyse

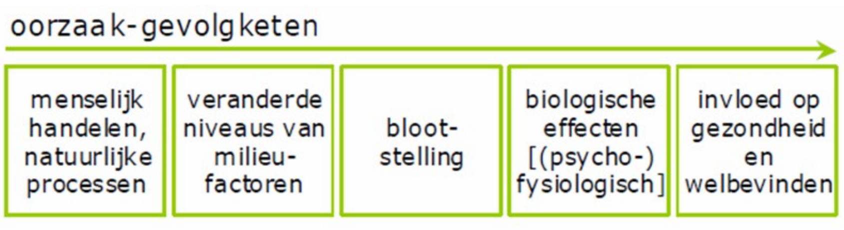
Zoals al werd aangegeven kwam uit de eerder door het RIVM uitgevoerde review [1] naar voren dat er kennishiaten zijn aan te wijzen zowel voor wat betreft de blootstelling aan trillingen door treinen en de effecten daarvan, als de relatie tussen beide. Deze hiaten vormen de belangrijkste bouwstenen voor de programmeringsstudie die naar aanleiding van een genoemde Kamermotie en ter voorbereiding van regelgeving werd opgezet door het ministerie van IenM in samenwerking met RIVM en ProRail.

Wanneer men gezondheidseffecten van infrastructurele projecten wil beoordelen, dan kan dat aan de hand van een gezondheidseffectschatting ofwel Health Impact Assessment (HIA) [26]. Dit is een 'combinatie van methodes, procedures, en instrumenten waarmee een beleidsvoorstel, programma of project kan worden beoordeeld op de effecten op de gezondheid van een bepaalde populatie en de verdeling van die effecten binnen die populatie' [27].

Het doel is om economische en gezondheidskundige belangen objectief tegen elkaar af te kunnen wegen. Dit gebeurt aan de hand van voorspellingen over (de omvang van) gezondheidseffecten en het communiceren daarvan naar beleidsmakers en andere belanghebbenden [28].
Een HIA of gezondheidskundige afweging is dus een manier om te bepalen of een interventie of maatregel voldoet aan een van tevoren gesteld doelmatigheidscriterium (bijvoorbeeld een reductie van de hinder met 10%). Vaak beperkt een HIA zich tot het aantal mensen dat een ziekte krijgt of het aantal Disability-Adjusted Life Years (DALYs) ten gevolge hiervan of de bijbehorende kosten. Een HIA assessment moet onderscheiden worden van de vraag of een bepaald gebied of woning aan een van tevoren gestelde norm (bijvoorbeeld een Bts- of SBR-norm) voldoet.
De Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) onderscheidt in hun beschrijving van een HIA een aantal stappen [29]. Belangrijkste stappen hierbij zijn:

1. verzameling van relevante gegevens;
2. evaluatie van de gegevens in termen van de sterkte van het bewijs;
3. evaluatie van de gegevens in termen van biologische effecten, gezondheid en welzijn;
4. keuze van richt- en grenswaarden op basis van kosten-batenanalyse en/of politieke wenselijkheid (rechtvaardigheidsoverweging).

Hieraan ligt een oorzaak-gevolgketen ten grondslag zoals onder andere beschreven in WHO [29].



Traditioneel beoordelen beleidsmakers de milieukwaliteit aan de hand van normen (grenswaardes) of gezondheidskundige advieswaardes. Zolang geluidniveaus en concentraties bijvoorbeeld onder deze waarde blijven, is er 'niks aan de hand'. In verband met de uitbreiding en aanleg van infrastructuur vindt vaak alleen een toetsing aan de normen plaats die deel uitmaken van wet- en regelgeving: men kijkt of de berekende belasting aan de norm (grenswaarde) voldoet c.q. voldoende bescherming biedt. Echter, grenswaarden hebben niet altijd een gezondheidskundige basis; ook technische en economische aspecten kunnen een rol spelen [30]. Hoewel ze vaak ondubbelzinnig en gemakkelijk te begrijpen zijn, laten ze een aantal belangrijke epidemiologische inzichten buiten beschouwing. Een van de belangrijkste problemen is dat duidelijke indicaties voor een gezondheidskundige drempelwaarde waarboven gezondheidseffecten optreden bij realistische niveaus van blootstelling vaak ontbreken. Dit is bijvoorbeeld het geval bij geluid: volgens de Wet Geluidhinder geldt in veel situaties een grenswaarde van 63 dB L_{den} of hoger ten gevolge van wegverkeer in stedelijk gebied. Maar sommige mensen kunnen al ernstig gehinderd zijn bij geluidniveaus door wegverkeer van 50-55 dB L_{den} [12].

In aanvulling op toetsing aan normen wordt vaak ook een doelmatigheids-criterium gehanteerd. Dit is een methode waarmee de doelmatigheid van maatregelen wordt bepaald en wordt afgewogen tegen beleidsmatige normen. In diverse maatschappelijke domeinen wordt gebruikgemaakt van een

doelmatigheidscriterium. Zo wordt bij bodemsanering een doelmatigheids-criterium gebruikt voor een maximaal toelaatbare hoeveelheid verwerkbare reststoffen. De reinigingskosten worden dan vergeleken met de kosten van het saneren van vervuilde grond. Als het gaat om het reduceren van geluid door spoorwegen zijn er meestal wel mogelijkheden om het geluid te reduceren. Een doelmatigheidsoverweging zal dus niet leiden tot de conclusie dat er niets moet gebeuren. Bij trillingen lijkt dat wel zo uit te werken, omdat bewezen technieken aan de bron of in de overdracht niet of nauwelijks voorhanden zijn en omdat maatregelen aan een bestaande woning zeer ingrijpend kunnen zijn. De hoge kosten van trillingsreducerende maatregelen moeten opwegen tegen de effecten daarvan. Om dat te bepalen zal er een kosten-batenanalyse moeten worden uitgevoerd.

2.5 Conclusie

In internationale studies naar de effecten van trillingen van treinen op hinder, slaapverstoring, ervaren gezondheid en medicijngebruik zijn aanwijzingen gevonden dat langdurige blootstelling aan trillingen van treinen samenhangt met hinder en slaapverstoring. Over andere, langere termijn gezondheidseffecten is nog relatief weinig bekend. Wat betreft de blootstelling kan geconcludeerd worden dat er nog geen consensus bestaat ten aanzien van de te hanteren maat of indicator. Bij de keuze van de te hanteren blootstellingsmaten is in dit onderzoek in de eerste plaats uitgegaan van de V_{max} omdat deze maat in het huidige beleid vigeert. Daarnaast werden op basis van een tweetal meta-analyses en een recent EU-onderzoek ook afstand en RMS opgenomen in het onderzoek.
Op basis van de huidige resultaten van studies die de mogelijke effecten van trillingen van treinen op de volwassen bevolking onderzochten was het nog niet mogelijk blootstelling-effectrelaties af te leiden. Een belangrijke reden hiervoor is dat er nog geen model beschikbaar is waarmee de blootstelling aan trillingen door treinverkeer voor de gehele bevolking op adequate wijze kan worden gekarakteriseerd/ingeschat.

Uit bestaande onderzoeken met betrekking tot effecten van geluid en/of trillingen komt een aantal demografische, contextuele en persoonlijke factoren naar voren die de relatie tussen trillingen van treinen en effecten mede kunnen beïnvloeden. Het gaat dan, naast de gebruikelijke demografische kenmerken (leeftijd, geslacht, opleiding, sociaaleconomische status) om aspecten als woonduur, woningtype, constructie van de woning (houten vloeren versus beton), woonlaag etc. Daarnaast blijken onder de categorie situationele factoren aspecten mee te spelen zoals de verhouding tussen dag- en nachtbelasting door treinen, de ratio reizigers-/goederentreinen, het aantal treinpassages, aantrekkelijkheid van de buurt, geluidniveaus, bodemsoort, bouwconstructie woning, en de waarneming van de trillingen door het rammelen van ramen, voorwerpen etc. Deze factoren spelen een rol bij de mate van ervaren hinder. Ook zal op grond van bestaande evidentie rekening moeten worden gehouden met de houding van mensen ten aanzien van treinverkeer en het huidige beleid, verwachtingen ten aanzien van toekomstige niveaus van trillingen, acceptatie en angst voor bijvoorbeeld schade aan de woning.
Door het ontbreken van blootstelling-effectrelaties was het eerder niet mogelijk om een schatting te maken van de omvang van de effecten op welzijn en gezondheid bij de heersende niveaus van trillingen door treinen in Nederland. In het vragenlijstonderzoek wordt een aantal van de in dit hoofdstuk beschreven lacunes ondervangen, waardoor dit nu wel mogelijk is, zij het met het nodige voorbehoud. De omvang van de steekproef is groot en bij de selectie van

deelnemers is gelet op de verdeling van adressen over de blootstellingsklassen. Bovendien werd een brede range van uitkomstmaten en mogelijk verstorende variabelen gemeten.

3 Materiaal en methode

3.1 Onderzoeksopzet

Het onderzoek ‘Wonen langs het spoor’ is een dwarsdoorsnede onderzoek onder personen van 16 jaar en ouder die tot 300 meter van een spoorlijn in Nederland wonen. De deelnemers zijn geworven nadat woningen zijn geselecteerd op basis van de afstand van de woning tot het spoor, het bouwjaar van de woning en het type bodem waarop de woning was gebouwd. Aanvullend is ook rekening gehouden met andere fysiek-contextuele kenmerken zoals treinintensiteiten en de verhouding tussen het aantal goederen- en reizigerstreinen. Op die manier werd een evenwichtige verdeling van de deelnemers over het hele bereik van de blootstelling aan trillingen door railverkeer bereikt. Met powerberekeningen (zie Bijlage 2) is geschat dat 13.000–16.000 deelnemers voor het onderzoek nodig zijn. Hierbij is uitgegaan van een betrouwbaarheid van 95%, een power van 60-90% om een effect op hinder waar te nemen, en een verwachte respons van 30%.

In de periode van 3 oktober–eind november 2013 werd door middel van een vragenlijst (online of schriftelijk) informatie verzameld over zowel de waarneming van trillingen door railverkeer, de effecten van de trillingen, als over de mogelijke determinanten daarvan. Om vast te stellen in welke mate de deelnemers aan het vragenlijstonderzoek afwijken van de non-respondenten, werd in het voorjaar van 2014 een non-respons onderzoek uitgevoerd (Bijlage 5) onder een aselecte steekproef van alle niet-deelnemers.

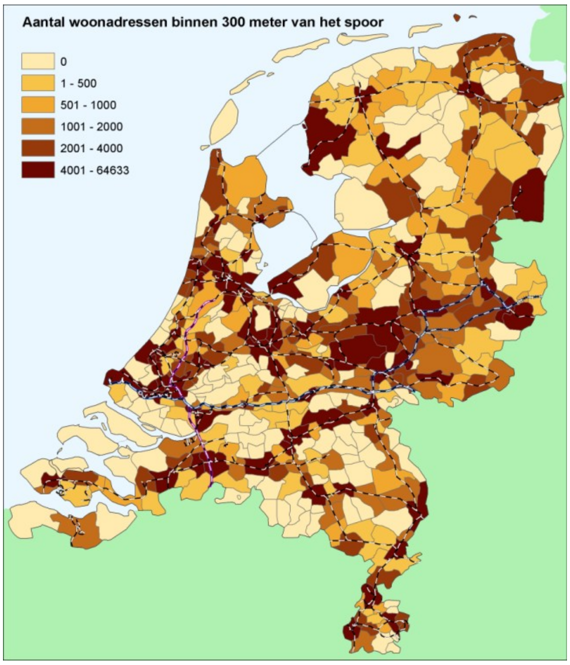
Voor elk adres is de langetermijnblootstelling afkomstig van railverkeer met een model vastgesteld. Als indicator voor de langetermijnblootstelling is gekozen voor de V_{max} en de RMS. De V_{max} is gekozen omdat deze maat, samen met de V_{per}, al enige decennia wordt gebruikt voor de beoordeling van trillingen [5, 9]. Hierdoor kunnen de resultaten in dit rapport worden gerelateerd aan de bestaande regelgeving. De V_{max} geeft de maximale trillingssterkte van alle passages gedurende een week. De RMS is gekozen op basis van bevindingen van het EU-project CargoVibes [2]. RMS is een tijdgemiddelde trillingsmaat en lijkt op de V_{per}, met als verschil dat de V_{per} een tijdgemiddelde van maxima per 30 seconden betreft, waar de RMS een tijdgemiddelde van RMS-waarden per 30 seconden is [4]. De RMS geeft de totale trillingsenergie op een locatie weer. De lezer wordt verwezen naar Bijlage 1 en Bijlage 8 voor verdere details.

3.2 Leeswijzer

In de volgende paragrafen wordt de werkwijze die voor dit onderzoek is gevolgd kort samengevat. Voor een gedetailleerde omschrijving wordt verwezen naar Bijlage 7. Paragraaf 3.3 beschrijft de selectie van het onderzoeksgebied en woonadressen. Nadat de vragenlijst is beschreven (paragraaf 3.4) wordt het veldwerk nader toegelicht in paragraaf 3.5. In paragraaf 3.6 wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste kenmerken van de deelnemers en wordt vervolgens in paragraaf 3.7 het non-respons onderzoek verder toegelicht. Om te bepalen of er sprake is van mogelijk selectieve non-respons worden de respondenten en de non-respondenten met elkaar vergeleken. Paragraaf 3.8 gaat nader in op de modellering van de blootstelling aan trillingen. Voor details over steekproeftrekking, statistische procedures en weegfactoren verwijzen we naar Bijlage 6 en Bijlage 7.

3.3 Steekproeftrekking: onderzoeksgebied en selectie van woonadressen

Uit het bestand 'Basisregistraties Adressen en Gebouwen' (BAG, 2012) van het Kadaster werden met behulp van een Geografisch Informatie Systeem, de adresgegevens verkregen van alle gebouwen in Nederland. Voor al deze gebouwen is de afstand (in meters) tot de dichtstbijzijnde spoorlijn berekend. Hieruit is een selectie gemaakt van alle gebouwen die tot een afstand van 300 meter van het spoor liggen. In totaal ging het om ongeveer een miljoen adressen. Gebouwen die volgens het BAG geen woonbestemming hadden en/of die niet de status 'in gebruik' hadden, werden van deelname uitgesloten. In Figuur 3.1 wordt weergegeven hoe deze adressen per gemeente zijn verdeeld over Nederland.



Figuur 3.1 Aantal woonadressen per gemeente binnen 300 meter van het spoor.

Uit de resterende 837.521[6] adressen zijn vervolgens adressen geselecteerd, gestratificeerd naar afstand tot het spoor, bouwjaar en bodemtype. Factoren als de afstand tot het spoor en de geofysische kenmerken van de bodem en constructie van het gebouw zijn van belang voor de overdracht van de trillingen tussen bron en ontvanger. Om een evenwichtige verdeling van de blootstelling te krijgen, zijn er op basis van afstand, bouwjaar en bodemtype zestien strata gecreëerd. Een stratum is een deel van het onderzoeksgebied waarin woningen liggen met een vergelijkbaar bouwjaar, gebouwd op een vergelijkbaar bodemtype en een vergelijkbare afstand tot het spoor. Om tot deze zestien strata te komen, zijn er voor afstand tot het spoor vier groepen gevormd (tot 50 mtr, 50-100 mtr, 100-200 mtr, 200-300 mtr). Voor bouwjaar zijn twee groepen gevormd (voor 1950, 1950 en later). Voor bodemtype zijn ook twee groepen gevormd: (i) woningen gebouwd op veengrond, en (ii) woningen die niet zijn gebouwd op veengrond.

[6] De aantallen adressen die uiteindelijk zijn gebruikt kunnen nog iets afwijken omdat er bijvoorbeeld voor sommige adressen geen bouwjaar bekend is of geen bodemtype.

De steekproef is getrokken uit de beschikbare woonadressen (BAG, 2012) per stratum. In stratum 1 (woningen die op minder dan 50 meter van het spoor liggen, die zijn gebouwd vóór 1950 en die op veengrond liggen) waren niet genoeg woonadressen beschikbaar: er waren 2000 nodig, terwijl er maar 1664 aanwezig waren. Daarom werd in stratum 2 (woningen die op minder dan 50 meter van het spoor liggen, zijn gebouwd vóór 1950, maar niet op veengrond liggen) een de steekproef opgehoogd: er werden 2336 adressen geselecteerd in categorie twee in plaats van 2000. Dit leverde een bruto steekproef van 16.000 adressen op.

3.4 De vragenlijst

Met behulp van de vragenlijst werd informatie verzameld over zowel de waarneming van trillingen door railverkeer, de effecten van de trillingen als over de mogelijke determinanten daarvan. De vragen zijn grotendeels afgeleid uit de vragenlijst die is gebruikt in het Europese project CargoVibes [2], aangevuld met vragen uit de studie uitgevoerd door de Universiteit van Salford [21], de Gezondheidskundige Evaluatie Schiphol [22]. Ook is gebruikgemaakt van vragen afkomstig uit nationale onderzoeken zoals de GGD-monitor [31] en WOoN [32, 33] en andere onderzoeken [34, 35].

De vragenlijst is opgebouwd uit acht blokken:

1. Woonomgeving:
   In dit blok is gevraagd naar woontevredenheid, de prettige en onprettige kanten van het wonen, voor -en achteruitgang van de buurt(voorziening).
2. Trillingen in en rondom de woning:
   In dit blok is gevraagd naar de mate van hinder door trillingen van verschillende omgevingsbronnen en specifiek voor bronnen van railverkeer. Daarnaast zijn er vragen gesteld over de perceptie van trillingen door railverkeer: hoe worden de trillingen waargenomen en in welke mate worden activiteiten verstoord. Ten slotte is specifiek gevraagd naar de mate van slaapverstoring door de verschillende trillingsbronnen op het spoor.
3. De geluidssituatie in en rondom de woning:
   In dit blok wordt de mate van hinder en slaapverstoring gemeten door geluid van verschillende omgevingsbronnen en specifiek voor geluid veroorzaakt door verschillende bronnen van railverkeer. Ook is gevraagd naar de geluidkwaliteit in en rondom de woning.
4. Vragen over treinen of wonen aan het spoor:
   In dit blok is gevraagd of met de trein wordt gereisd en/of de werkzaamheden van de deelnemer of diens huisgenoten verband houden met het spoor of treinverkeer. Daarnaast is gevraagd naar de zichtbaarheid van het spoor vanuit de woning en de reacties die het waarnemen van de treinen geven bij de deelnemers. Ook is de bezorgdheid over een aantal aspecten van het treinverkeer gemeten, coping (wijze waarop bewoners zich aanpassen of de effecten trachten te compenseren), en de houding met betrekking tot het treinverkeer en het beleid. Ten slotte is gevraagd een oordeel te geven over een aantal uitspraken met betrekking tot het treinverkeer, in welke mate de trillingen van de treinen acceptabel zijn en welke maatregelen er zouden moeten worden getroffen ter compensatie van het ongemak van de trillingen.
5. De woning:
   In dit blok is gevraagd naar verschillende kenmerken van de woning zoals woningeigendom, type woning, aantal verdiepingen, de situering van de woon- en slaapkamer, het materiaal waarmee de vloeren van woon- en

slaapkamer zijn gemaakt, het al dan niet hebben van dubbel glas in de woon- en slaapkamer. Ook is nagegaan of de woning is geïsoleerd tegen trillingen en de tevredenheid daarover.

6. Gezondheid en welzijn:
   In dit blok wordt een aantal vragen gesteld over de gezondheid en het welzijn van de deelnemers. Het betreft algemene gezondheid, mentale gezondheid, slaapkwaliteit, lichamelijke klachten en medicijngebruik.
7. Demografische kenmerken:
   In dit blok is een aantal sociaaldemografische kenmerken gevraagd zoals leeftijd, geslacht, opleiding, arbeidssituatie, inkomen, etniciteit en gezinssamenstelling
8. Kosten om trillingen te voorkomen of te accepteren:
   De vragen in dit blok informeren naar welk bedrag bewoners over zouden hebben om trillingen te verminderen (Willingness to Pay of WTP) en wat anderen naar de mening van de bewoner zouden moeten bijdragen om trillingen te compenseren (Willingness to Accept of WTA) en de motieven die hierbij een rol spelen.

De concept-vragenlijst werd eerst intern voorgelegd aan RIVM-collega's en vervolgens aan de opdrachtgever en een stakeholdergroep met vertegenwoordigers van GGD'en, provincie, gemeente, TNO en ProRail. Aandachtspunten hierbij waren: titel, introductieteksten, volgorde, tijdsinvestering, mening over de vragenlijst als geheel, begrijpelijkheid en routing. De vragenlijst is aangepast op basis van de commentaren. Voor een gedetailleerdere beschrijving van de achtergrond van de vragenlijst en de vragenlijst zelf, wordt verwezen naar Bijlagen 3 en 4. Niet alle vragen uit de vragenlijst zijn gebruikt voor de analyses in deze rapportage. Bijlage 4 geeft een overzicht van de vragen en schalen die relevant zijn voor dit rapport, met daarbij de bron, wijze van bewerking en score range.

3.5 Veldwerk

Aan de bewoners van de 16.000 geselecteerde adressen (totale bruto steekproef) werd een brief gestuurd met daarin een uitnodiging voor deelname aan het onderzoek. Per adres werd diegene van 16 jaar of ouder, die het eerste jarig zou zijn, gevraagd om een online vragenlijst in te vullen. Tevens werd de mogelijkheid geboden om de vragenlijst schriftelijk in te vullen. Na ongeveer twee weken werd een herinnering verstuurd naar die adressen die tot dan toe nog niet hadden gerespondeerd.

Na aanschrijving bleek dat 404 adressen niet bestonden of niet bewoond waren (bruikbare bruto steekproef). De non-respons bedroeg 10.670 personen en bestond uit alle mensen die de vragenlijst niet geretourneerd hadden, geweigerd hadden om deel te nemen aan het onderzoek, of waarvan de vragenlijst in die mate slecht was ingevuld, dat verdere verwerking onmogelijk was. Het totaal aantal geretourneerde en bruikbare vragenlijsten bedroeg 4927 (32%).

Een overzicht van de respons per selectiestratum wordt weergegeven in Tabel 3.1. De tabel geeft de responspercentages ten opzichte van de totale bruto steekproef.

Tabel 3.1 Respons per stratum.

Stratum	Beschrijving	Aantal deelnemers	Respons (%)
1	< 50 meter, < 1950, veen	505	30,3
2	< 50 meter, < 1950, overig bodemtype	961	41,1
3	< 50 meter, > 1950, veen	566	28,3
4	< 50 meter, > 1950, overig bodemtype	744	37,2
5	50-100 meter, < 1950, veen	250	20,8
6	50-100 meter, < 1950, overig bodemtype	456	38,0
7	50-100 meter, > 1950, veen	275	22,9
8	50-100 meter, > 1950, overig bodemtype	413	34,4
9	100–200 meter, < 1950, veen	114	19,0
10	100–200 meter, < 1950, overig bodemtype	189	31,5
11	100–200 meter, > 1950, veen	118	19,5
12	100–200 meter, > 1950, overig bodemtype	165	27,5
13	200–300 meter, < 1950, veen	30	15,0
14	200–300 meter, < 1950, overig bodemtype	61	30,5
15	200–300 meter, > 1950, veen	39	19,0
16	200–300 meter, > 1950, overig bodemtype	41	20,5

In Figuur 3.2 is te zien hoe de respons ruimtelijk is verdeeld.



Figuur 3.2 Ruimtelijke verdeling van de respons.

Een vergelijking van beide kaartjes laat zien dat de ruimtelijke verdeling van de deelnemers goed is, slechts een enkel tracé dat wel in de steekproef zat is niet vertegenwoordigd.

3.6 Kenmerken van de onderzoekspopulatie

3.6.1 Algemene kenmerken

In Tabel 3.2 wordt een aantal kenmerken van de deelnemers gepresenteerd. Uit de tabel blijkt dat de gemiddelde leeftijd van de deelnemers 52 jaar bedraagt. Ten opzichte van de Nederlandse bevolking doen er relatief veel personen van 45 jaar en ouder mee: het aantal personen onder de Nederlandse bevolking van 45-64 jaar en van 65 jaar en ouder bedroeg in 2013 volgens het CBS

respectievelijk 28% en bijna 17% [36]. Het aantal niet-westerse allochtonen is onder de deelnemers laag. In 2013 bedroeg het aantal niet-westerse allochtonen in de Nederlandse bevolking 12% [36]. Het aantal hoog opgeleiden is relatief hoog onder de deelnemers. Ter vergelijking: in 2012 had 28% van de Nederlandse bevolking een HBO- of WO-opleiding afgerond [36]. Ook is het eigenwoningbezit onder de deelnemers relatief hoog; in 2012 had 56% van de Nederlandse bevolking een eigen woning [36]. Gemiddeld wonen de deelnemers al ruim zestien jaar op hun huidige adres.

Tabel 3.2 Algemene kenmerken van de onderzoekspopulatie.

Kenmerk	**%**	**Gemiddelde (SD)**	**Range (min – max)**	**N**
Leeftijd (jr)	33	52,0 (15,3)	18 – 100	4532
16-44 jr	44			
45-64 jr	23			
65 jr en ouder				
Vrouwen	47			4586
Nationaliteit	96			4540
Nederland				
Westers	2			
Niet-westers	2			
*Gezinssituatie**	28			4913
Alleenwonend				
Samenwonend met kinderen van 18 jr en ouder	11			
Samenwonend met kinderen jonger dan 18 jr	23			
Huishoudens zonder thuiswonende kinderen	4			
Eenoudergezin	7			
Opleidingsniveau	3			4472
Lager onderwijs				
MAVO, LBO	21			
HAVO, VWO, MBO	30			
HBO, WO	46			
*Werksituatie**	58			4927
Betaalde werkkring				
Werkloos	4			
Gepensioneerd	21			
Volledig arbeidsongeschikt	5			
Fulltime huisvrouw of -man	9			
Student	5			
Gepensioneerd met baan	1			
Deels werkloos	1			
Deels arbeidsongeschikt	1			
Koopwoning	69			4628
Woonduur (jr)	76	16,2 (15,1)	0–94	4534
Ten minste 5 jr				

* Let op: omdat bij de vraag over gezinssituatie (2B) meerdere antwoorden konden worden ingevuld, tellen de percentages niet op tot 100%. SD = standaarddeviatie, min= minimum, max = maximum, N = aantal deelnemers in de analyse.

In Tabel 3.3 wordt een aantal kenmerken van de woning en de directe omgeving van de deelnemers gepresenteerd.

Tabel 3.3 Kenmerken van de woning en directe omgeving van de onderzoekspopulatie.

Kenmerk	**%**	**N**	**ref %***
*Type woning**	65	4566	79
Eengezinswoning			
Meergezinswoning, op etage 1-3	15		14
Meergezinswoning, op etage 4 of hoger	20		6
Bouwjaar	12	4925	6
Tot 1906			
1906 – 1944	37		18
1945 – 1959	8		11
1960 – 1970	8		13
1971 – 1980	8		12
1981 – 2000	15		26
2001 – 2010	12		11
Na 2010	1		4
Materiaal vloeren in woonkamer	52	4618	75
Beton			
Hout	39		25
Hout en beton	2		
Beton en ander materiaal dan hout	0,1		
Hout en ander materiaal dan hout	0,2		
Anders	2		
Aanwezigheid dubbelglas	92	4560	
Woonkamer			
Slaapkamer	81	4531	
Maatregel tegen trillingen door mensen zelf	3	2970	
Veer- en dempingapparaat			
Verstijving van de vloeren	8	2734	
Grondsoort	11	4919	37
Klei			
Leem	1		4
Veen	39		14
Zand	47		40
Zavel	2		5
Stedelijkheid van het postcode-6 gebied†	11	4922	6
Niet stedelijk			
Weinig stedelijk	14		14
Matig stedelijk	16		17
Sterk stedelijk	26		30
Zeer sterk stedelijk	33		32
Aanwezigheid spoortunnel	2	4925	3

* Totale populatie van 16 jaar en ouder binnen 300 meter van het spoor. *†* Stedelijkheid is een maatstaf voor de concentratie van menselijke activiteiten gebaseerd op gemiddelde omgeving adressendichtheid (oad) uitgedrukt in het aantal adressen per km^2. Er wordt onderscheid gemaakt tussen niet-stedelijk (gemiddelde oad van minder dan 500 adressen per km^2), weinig stedelijk (gemiddelde oad van 500 tot 1000 adressen per km^2), matig stedelijk (gemiddelde oad van 1000 tot 1500 adressen per km^2), sterk stedelijk (gemiddelde oad van 1500 tot 2500 adressen per km^2) en zeer sterk stedelijk (gemiddelde oad van meer dan 2500 adressen per km^2).

Ongeveer twee derde van de deelnemers (65%) woonde in een rijtjeshuis, hoekwoning, vrijstaand huis, twee-onder-een-kap, villa, bungalow of landhuis. De meeste woningen waarin de deelnemers woonden zijn voor 1944 gebouwd. Iets meer dan een kwart van de woningen is gebouwd in de periode 1981-2010. Ruim de helft van de woningen heeft een betonnen vloer in de woonkamer. Ook hebben de meeste woningen de beschikking over dubbelglas in de woonkamer. In slechts een klein aantal van de woningen zijn voorzieningen toegepast om de woning te isoleren tegen trillingen.

Bijna de helft van de woningen van de deelnemers is gebouwd op zandgrond; bijna 39% is gebouwd op veengrond. De meeste woningen staan in een sterk tot zeer sterk stedelijke omgeving. Bij nog geen 2% van de woningen van de deelnemers ligt een spoortunnel in de buurt.

3.7 Non-respons onderzoek

Onder een random steekproef van 503 adressen is in de periode tussen februari en mei 2014 een zogenoemd non-respons onderzoek uitgevoerd aan de hand van een korte schriftelijke vragenlijst (Bijlage 5). De respons hierop was met 148 reacties (29%) relatief laag. De vragen betroffen tevredenheid met de woonomgeving, de mate van hinder door trillingen veroorzaakt door treinverkeer, leeftijd, geslacht, opleiding en een oordeel over een aantal uitspraken met betrekking tot het treinverkeer. Tevens is gevraagd naar de reden om niet mee te doen. Een vergelijking tussen deelnemers aan de survey en de 148 deelnemers aan het non-respons onderzoek laat zien dat de deelnemers iets jonger en hoger opgeleid zijn. In houding ten aanzien van beleid en groei van het spoorverkeer en woontevredenheid wijken de beide groepen niet van elkaar af. De enige aanzienlijke afwijking zit in de mate van hinder die deelnemers ondervinden: zij rapporteren duidelijk meer hinder (dit is significant afwijkend; $p < 0,0001$).

In Tabel 3.4 worden de verschillen weergegeven.

Tabel 3.4 Vergelijking deelnemers onderzoek en met deelnemers aan het non-respons-onderzoek.

	Respondenten n=4927		**Respons deelnemers non-respons onderzoek n=148**	
	Gem / %	**SD**	**Gem / %**	**SD**
Mannen	53%		53%	
Leeftijd	52	15,3	57	17,6
Opleidingsniveau				
- Laag	3%		7%	
- MAVO, LBO	21%		26%	
- HAVO, VWO, MBO	30%		28%	
- HBO/WO	46%		39%	
Hinder door trillingen door treinverkeer	5	3,4	3	3,0
Houding t.a.v. beleid*	6	2,5	3	2,3
Houding t.a.v. groei†	6	2,9	6	2,8
Woontevredenheid	8	1,5	7	1,6

* Houding ten aanzien van het huidige beleid ten aanzien van treinverkeer langs het spoor; † Houding ten aanzien van plannen om het huidige treinverkeer in Nederland uit te breiden. Afkortingen: n = aantal personen, Gem = gemiddelde, SD = standaarddeviatie.

Personen die veel hinder door de trillingen van het treinverkeer ondervinden, hebben vaker meegedaan aan het onderzoek. Dit kan aanleiding geven tot een vertekening van de eindresultaten (overschatting van het probleem); bij de toepassing van de hindercijfers op de totale populatie moet rekening worden gehouden met een mogelijke overschatting van het percentage ernstig gehinderden. Door de lage respons van het non-respons onderzoek (29%) is het niet mogelijk om de invloed van de selectieve non-respons te kwantificeren.

3.8 De modellering van de blootstelling aan trillingen

3.8.1 *Blootstellingsmaten*

In verschillende landen worden uiteenlopende blootstellingsmaten gebruikt om trillingen van treinen uit te drukken. In Nederland wordt voor de bepaling van hinder en schade de V_{max} en de V_{per} gehanteerd [5, 9]. In het project CargoVibes is vastgesteld dat maten die niet alleen afhangen van de momentane trillingssterkte, maar ook van de trillingsduur (aantal treinpassages) betere voorspellers van de hinder kunnen zijn [7]. Uit een analyse van TNO komt de RMS als maat naar voren die goed correleert met hinder [4]. In het voorliggende onderzoek wordt daarom, naast de voor Nederlandse praktijk belangrijke V_{max} ook de RMS gebruikt om de blootstelling te bepalen.
De Vmax, zoals die in de Bts en SBR wordt gedefinieerd, is een dimensieloze trillingsmaat. Dit betekent dat de Vmax-waarden zijn gedeeld door 1 mm/s en dat deze waarden vervolgens steeds zonder de eenheid mm/s worden vermeld. In afwijking daarvan schrijven wij in dit rapport de eenheid mm/s erbij, zodat het onderscheid met de RMS die de eenheid mm/s2 heeft, steeds duidelijk is.

3.8.2 *Bepaling trillingssterkte*

De trillingssterkte kan met metingen of met berekeningen worden bepaald. In de gangbare praktijk [5] [9] worden metingen in combinatie met berekeningen uitgevoerd, bijvoorbeeld om een beeld te verkrijgen van de trillingen in de toekomstige situatie (nieuwe sporen en/of extra treinverkeer).
In dit onderzoek is er uit praktische overwegingen voor gekozen om de trillingssterkte enkel met berekeningen te bepalen. Hiervoor zijn enkele rekenmodellen in overweging genomen. Hieruit is het SRM-T model gekozen omdat het op dat moment het best beschikbare model was. Dit model, voluit Standaard Rekenmethode voor Trillingen, is enkele jaren geleden ontwikkeld [37]. Bij de berekeningen met dit model zijn in dit onderzoek om praktische redenen benaderingen en keuzen gemaakt. Per individuele woning zullen hierdoor vrij grote afwijkingen kunnen bestaan tussen de berekende blootstelling en de werkelijke blootstelling. Deze afwijkingen worden veroorzaakt door variaties in vloergedrag, constructie van het gebouw, fundering, lokale bodemcondities, conditie van het spoor en type en snelheid van de treinen. Op basis van ervaring wordt geschat dat die afwijkingen maximaal een factor 10 bedragen. Het is tevens mogelijk dat hierbij een systematische fout wordt geïntroduceerd die een bias op de blootstellingswaarden geeft. Idealiter zouden de parameters in SRM-T moeten komen uit metingen. Het daadwerkelijk opbouwen van een dergelijk databestand, en het valideren van SRM-T aan de hand van bestaande en komende projecten, om de schattingen te vergelijken met metingen en het model hierop aan te passen, dient echter nog plaats te vinden. Een nadere beschrijving van de wijze waarop de blootstelling met dit model is berekend wordt gegeven in Bijlage 8.

3.8.3 *Kenmerken van het spoor*

In Tabel 3.5 wordt een overzicht gegeven van het voorkomen van een aantal kenmerken van het spoor waarlangs de deelnemers wonen die een indicatie kunnen geven van de blootstelling aan trillingen.

Tabel 3.5 Fysieke kenmerken van het spoor die een indicatie kunnen geven van de blootstelling aan trillingen.

	N	Gem	SD	Min	Percentiel-waardes					Max
Kenmerk					**10%**	**25%**	**50%**	**75%**	**90%**	
Afstand (m)	4926	68,5	52,0	1,6	28,5	36,6	47,5	82,8	142,4	300
Trillingssterktes door treinverkeer										
RMS (mm/s^2)	4866	0,81	0,85	0,00	0,07	0,25	0,57	1,05	1,86	7,23
V_{max} (mm/s)	4866	1,39	1,10	0,00	0,15	0,58	1,20	1,89	2,93	5,55
Goederentreinen										
Aantal Dag	4926	11,1	14,2	0,0	0,0	1,7	8,6	13,2	28,6	102,5
Avond	4926	11,7	14,8	0,0	0,0	0,6	7,8	14,5	28,6	101,8
Nacht	4926	11,2	13,9	0,0	0,0	0,7	8,7	14,1	31,9	98,6
Snelheid (km/uur)	4926	80,1	26,0	0	42	70	91	99	100	100
Trillingssterktes RMS, $_{goederentreinen}$	4866	0,29	0,35	0,00	0,00	0,01	0,20	0,43	0,72	2,95
$V_{max, goederentreinen}$	4866	1,12	1,18	0,00	0,00	0,04	0,87	1,70	2,77	5,55
Reizigerstreinen										
Aantal Dag	4926	82,4	67,9	0,0	15,7	38,6	56,0	102,2	168,9	288,6
Avond	4926	65,5	52,1	0,0	12,1	33,5	46,3	85,7	134,8	217,4
Nacht	4926	22,2	20,2	0,0	3,9	9,1	14,0	30,9	40,5	87,3
Snelheid (km/uur)	4926	104,2	34,2	0	60	80	107	130	140	300
Trillingssterktes RMS, $_{reizigerstreinen}$	4866	0,72	0,81	0,00	0,05	0,20	0,48	0,93	1,69	6,88
$V_{max, reizigerstreinen}$	4866	1,10	0,90	0,00	0,09	0,39	0,92	1,55	2,37	4,27
Aandeel treinen t.o.v. het totaal aantal treinen										
Goederen*	4919	0,16	0,19	0	0,00	0,03	0,10	0,21	0,47	0,98
Nachtperiode†	4919	0,16	0,05	0	0,11	0,13	0,15	0,18	0,24	1,0
Geluidniveaus (dB) door treinverkeer										
L_{den} (dB)	4925	56,1	9,6	18,1	42,9	48,6	57,0	63,7	68,1	79,3
L_{night} (dB)	4925	48,8	9,6	17,6	35,6	41,1	49,3	56,3	61,2	73,9

* Fractie goederentreinen ten opzichte van het totaal aantal treinen dat er rijdt; † Fractie treinen ten opzichte van het totaal aantal treinen dat er gedurende de nachtperiode rijdt. Afkortingen: N = aantal mensen, Gem = gemiddelde, SD = standaarddeviatie, Min = minimale waarde, Max = maximale waarde, m = meter, # = aantal, km = kilometer, dB = decibel, L_{den} = Day-evening-night level. (berekend)

Uit de tabel blijkt dat de deelnemers op een afstand van gemiddeld 68,5 meter van het spoor wonen. Ook blijkt dat er over de onderzochte trajecten voornamelijk passagierstreinen rijden. In de nacht rijden er aanmerkelijk minder passagierstreinen; voor goederentreinen zijn de verschillen in aantallen treinen over de verschillende dagdelen klein. De passagierstreinen rijden met een aanmerkelijk hogere snelheid over het spoor dan de goederentreinen. Gemiddeld is het aandeel goederen 16%; het aandeel treinen dat tijdens de nachtperiode over het spoor rijdt is gemiddeld ook 16%. Naast trillingen produceren de treinen ook nogal wat lawaai. De gemiddelde geluidblootstelling door treinen van de deelnemers bedroeg 56,1 dB(A) L_{den}.

Tabel 3.6 Pearson-correlatie-coëfficiënten tussen de verschillende blootstellingsindicatoren (N=4866).

	RMS			**V_{max}**			**Geluid**	
	Treinverkeer	Goederen	Reizigers	Treinverkeer	Goederen	Reizigers	L_{den}	L_{night}
Afstand	-0,47	-0,40	-0,45	-0,61	-0,46	-0,61	-0,45	-0,42
RMS Treinverkeer	1	0,79	0,99	0,82	0,78	0,79	0,22	0,19
Goederen		1	0,68	0,70	0,84	0,58	0,26	0,27
Reizigers			1	0,79	0,72	0,79	0,18	0,15
V_{max} Treinverkeer				1	0,84	0,96	0,32	0,31
Goederen					1	0,71	0,24	0,24
Reizigers						1	0,31	0,29
L_{den}							1	0,98

* Waardes berekend voor de woonkamer.

Uit Tabel 3.6 blijkt dat de afstand tot het spoor laag tot matig is gecorreleerd met de blootstelling aan trillingen; de correlatie tussen afstand tot het spoor en de blootstelling aan geluid van railverkeer is laag.[7] Dat betekent dat iemand die in een huis woont dat dicht bij het spoor ligt niet per se is blootgesteld aan een hoog niveau van trillingen dan wel aan een hoog geluidniveau door railverkeer. De maten voor de blootstelling aan trillingen door treinen (RMS en V_{max}) zijn redelijk hoog met elkaar gecorreleerd. De blootstelling aan trillingen door treinen is laag gecorreleerd met de blootstelling door geluid van treinen.

Wanneer we respondenten vergelijken met de deelnemers aan het non-respons onderzoek, dan blijkt dat de respondenten dichter bij het spoor wonen en meer passages van goederentreinen krijgen; ze krijgen echter minder passages van reizigerstreinen en een lagere berekende V_{max} en RMS-waarde. Er is dus niet alleen sprake van een overschatting maar mogelijk ook van een onderschatting van het probleem: de vertekening kan beide kanten op gaan. Als je een random steekproef trekt uit de non-respondenten verwacht je dat dat een goede afspiegeling is van die groep, maar door de lage respons van 148 uit 503 blijkt dat dus niet het geval te zijn.

[7] Dat kan het gevolg zijn van het feit dat gekeken wordt naar een lineair verband terwijl de correlatie optreedt tussen de logaritme van de afstand en het geluidniveau.

Tabel 3.7 Blootstellingen andere situationele kenmerken: vergelijking respondenten, non-respondenten en totale populatie van 16 jaar en ouder woonachtig binnen 300 meter van het spoor.

	Respondenten n=4927	**Respons deelnemers non-respons onderzoek n=148**	**Non-respons deelnemers non-respons onderzoek n=355**	**Populatie ≥ 16 jaar en < 300 meter afst spoor n=1347400**
	Gem / % (SD)	**Gem / % (SD)**	**Gem / % (SD)**	**Gem / % (SD)**
Afstand spoor (m)	69 (52)	79 (63)	84 (57)	172 (97)
V_{max}	1,39 (1,10)	1,53 (1,29)	1,36 (1,26)	0,28 (0,72)
Bouwjaar	1952 (36,0)	1949 (32,6)	1952 (36,8)	1966 (42,8)
# wagons reizigerstreinen 24 hr	1429 (1181)	1593 (1337)	1736 (1301)	1022 (1174)
# bakken goederentreinen 24 hr	270 (338)	239 (296)	266 (299)	164 (323)

Personen die veel hinder door de trillingen van het treinverkeer ondervinden, hebben meer meegedaan aan het onderzoek. Dit kan aanleiding geven tot een vertekening van de eindresultaten (overschatting van het probleem); bij de toepassing van de hindercijfers op de totale populatie moet rekening worden gehouden met een mogelijke overschatting van het percentage ernstig gehinderden. Door de lage respons van het non-respons onderzoek (29%) is het niet mogelijk om de invloed van de selectieve non-respons te kwantificeren.

4 Resultaten

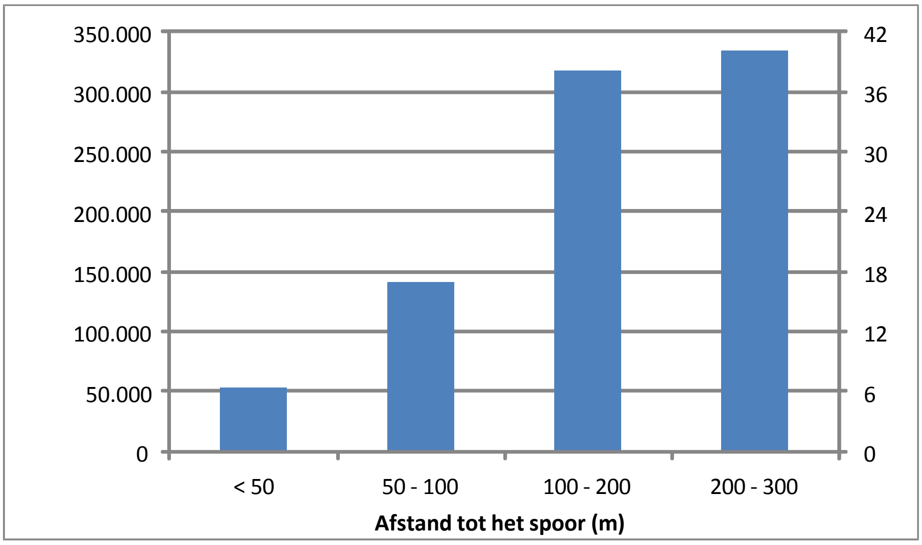
4.1 Leeswijzer

In dit hoofdstuk wordt een schatting gemaakt van de huidige situatie langs het spoor in termen van blootstelling en effecten. We beperken ons hier tot het schatten van de omvang van blootstellingen en effecten op landelijke schaal in de huidige situatie. Effecten die besproken worden zijn hinder, slaapverstoring en subjectieve gezondheid (ervaren gezondheid en medicijngebruik). Per uitkomstmaat wordt vervolgens de blootstelling-effectrelatie gepresenteerd en wordt ingegaan op determinanten van de effecten. Een eventuele toekomstige wettelijke normering van spoortrillingen kan echter betrekking hebben zowel op een bestaande situatie (met als gevolg sanering), als op een toekomstige situatie (nieuwe lijn of nieuwe woning) of een wijziging van een bestaande situatie. Voor elk van deze toepassingen zou idealiter de impact van de beoogde regelgeving van tevoren bekend moeten zijn (ex-ante evaluatie). Een dergelijke omvangschatting gaat echter de *scope* van deze studie te boven.
Zoals eerder aangegeven gaat het om een schatting op populatieniveau (omwonenden van 16 aar en ouder binnen 300 meter van het spoor).

4.2 Blootstelling aan trillingen door treinen in Nederland

Met het rekenmodel (SRM-T), dat in detail beschreven wordt in Bijlage 8, is voor alle woonadressen binnen 300 meter afstand van het spoor de blootstelling berekend. Het aantal mensen in Nederland dat binnen 300 meter van het spoor woont werd hierbij berekend door gegevens van het aantal inwoners per postcode-6 gebied te koppelen aan het BAG-bestand. In 2013 ging het naar schatting om ongeveer 1.347.000 mensen van 16 jaar en ouder.

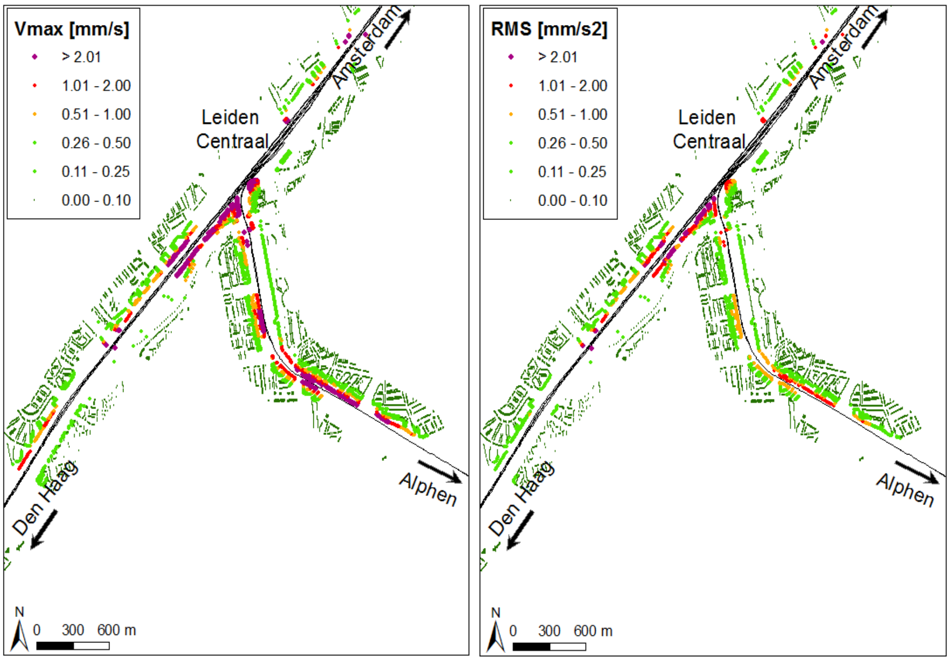
Figuur 4.1 laat zien hoeveel woonadressen in Nederland er op welke afstand van het spoor liggen. Totaal gaat het om ruim 845.000 woonadressen binnen 300 meter. Het blijkt dat tussen de 200 en 300 meter afstand van het spoor ongeveer 40% van de woningen ligt, tussen 100-200 meter zo’n 35%, tussen 50-100 meter is dit 17% en 6% ligt binnen 50 meter.



Figuur 4.1 Aantal woonadressen en het percentage woonadressen per afstandscategorie dat in 2013 in een gebied tot 300 meter van het spoor ligt.

Figuur 4.2 toont ter illustratie de berekende V_{max} en RMS nabij het spoor Leiden.[8] Uit de linker figuur blijkt dat op meer dan 150 meter de V_{max} is afgenomen tot minder dan 0,1 mm/s, de voelbaarheidsgrens [9-11]. Verder is te zien dat de V_{max} op de drukke spoorlijn Den Haag–Amsterdam even hoge waarden aanneemt als op het spoor naar Alphen a/d Rijn, waar de treinintensiteit vijf keer zo laag is. Dat komt doordat de maximale trillings*sterkte* niet zo gevoelig is voor aantallen treinen. De RMS, die evenredig is met de wortel uit de treinintensiteit, heeft op drukke sporen echter een aanmerkelijk hogere waarde dan op minder druk bereden spoorlijnen.

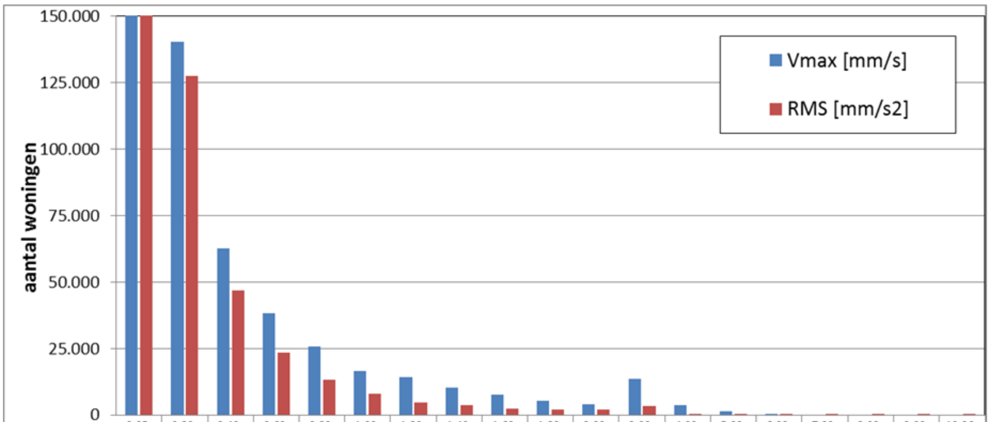
8 Leiden is als voorbeeld gekozen omdat daar een druk spoor en een veel minder druk spoor bij elkaar liggen. Dan zie je duidelijk de verschillen tussen de omvang van V_{max} en RMS.



Figuur 4.2 V_{max} en RMS in Leiden, berekend tot 300 m afstand van het spoor.

In Figuur 4.3 wordt weergegeven hoe de woningen binnen 300 meter van het spoor zijn verdeeld over de blootstellingsklassen voor trillingen (RMS en V_{max}). Om de blootstelling in perspectief te plaatsen, geven we enkele cijfers: bij 338.000 adressen (40% van het totaal aantal woningen binnen 300 meter) is een V_{max} bekend van meer dan 0,1 mm/s. Deze V_{max}-waarde correspondeert met de voelbaarheidsgrens. Onder deze grens zullen de meeste mensen geen trillingen waarnemen.

Bij zo'n 0,8% van het totaal is de V_{max} hoger dan 3,2 mm/s. Deze waarde is in de Beleidsregel Trillinghinder Spoor [5] als maximum voor spoorprojecten opgenomen die onder een Tracébesluit vallen (BTS artikel 9, lid 2). Deze sterkte is duidelijk waarneembaar. Het betreft ontoelaatbare niveaus en boven deze waarde is de doelmatigheid van trillingsmaatregelen niet meer relevant. Schade aan gebouwen zal in de meeste gevallen pas ontstaan bij nog (veel) hogere waarden van de V_{max} (zie [9]).

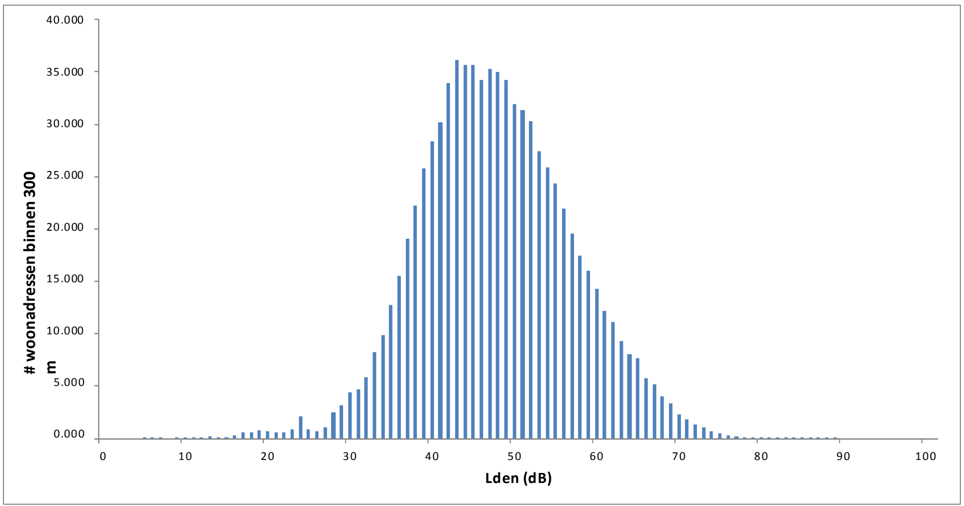


	0,05	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00
Vmax [mm/s]	502.890	140.436	62.588	38.184	25.629	16.357	14.048	10.256	7.736	5.311	4.039	13.490	3.698	1.256	29	0	0	0	0
RMS [mm/s2]	608.215	127.482	46.948	23.294	13.355	7.845	4.787	3.499	2.487	1.956	1.866	3.315	468	231	113	57	3	13	13

Figuur 4.3 Blootstelling van de woningen binnen 300 meter van het spoor aan trillingen van railverkeer uitgedrukt als V_{max} en RMS. De waarden onder de kolommen tonen de centrumwaarde van een blootstellingscategorie en het aantal woningen in die categorie.

4.2.1 *Blootstelling aan geluid en trillingen*

Op afstanden waar de trillingen van treinen kunnen worden waargenomen, zal in de woning vaak ook het geluid van die treinen kunnen worden waargenomen, ondanks demping door de gevel en ramen. Het is denkbaar dat daarbij een cumulatie-effect kan optreden: de ervaren trillingssterkte wordt versterkt door de gelijktijdige waarneming van het geluid. Iets anders is dat men trillingen waarneemt door de geluiden die erdoor in de woning worden veroorzaakt (meetrillen van serviesgoed, krakende geluiden, etc.). Het waarnemen van trillingen en geluiden van treinen is dus met elkaar verbonden. Hoewel er een interactie mogelijk is in de waarneming van trillingen en geluiden, zijn de blootstellingsmaten voor trillingen en geluid volledig gescheiden. Figuur 4.4 laat zien hoeveel woonadressen binnen 300 meter van het spoor zijn blootgesteld aan geluid van treinen, verdeeld over een aantal geluidsklassen.



Figuur 4.4 Blootstellingsverdeling geluid van treinen per woonadres binnen een gebied tot 300 meter van het spoor (op basis van het Stamina model [38], met verkeersgegevens uit 2011).

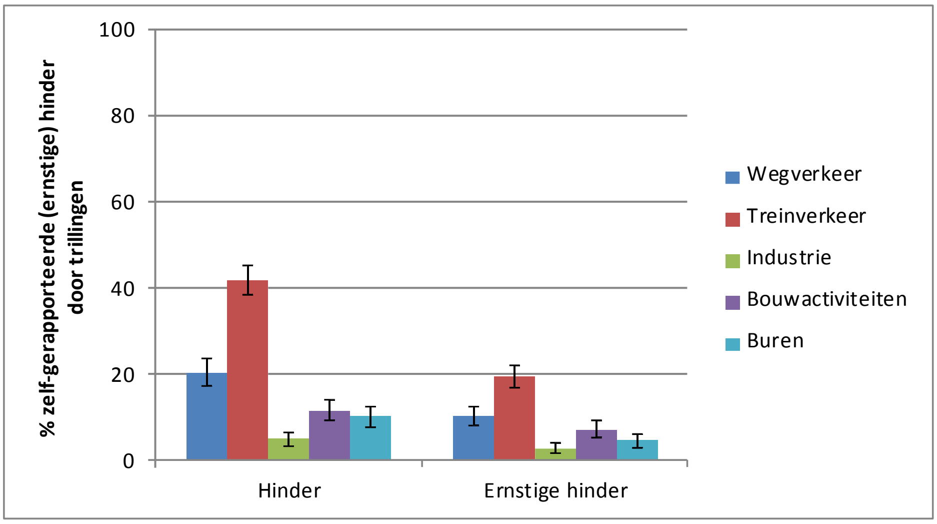
4.3 Hinder

De activiteiten op het spoor veroorzaken geluid en trillingen en personen die in de buurt van het spoor wonen, hebben met deze treingerelateerde verstoringen te maken en kunnen hiervan hinder ondervinden. Hinder kan, in lijn met de Gezondheidsraad [39] en de WHO [40] gedefinieerd worden als 'een gevoel van afkeer, boosheid, onbehagen, onvoldaanheid of gekwetstheid, dat optreedt wanneer een milieufactor iemands gedachten, gevoelens of activiteiten negatief beïnvloedt'. Hinder van geluid en trillingen is subjectief, en de mate van hinder wordt, behalve door het geluid of de trillingen in sterke mate bepaald door andere, persoonlijke en contextuele factoren. Hinder kan objectief gemeten worden aan de hand van vragenlijsten of geschat worden op basis van dosisresponsrelaties, afgeleid uit eerder onderzoek [13].

Op basis van de survey-data kan een schatting worden gemaakt van het percentage mensen woonachtig binnen een afstand van 300 meter van het spoor dat ernstige hinder ervaart door trillingen van treinen en andere omgevingsbronnen. Hinder werd gemeten aan de hand van een vraag die werd afgeleid van de ISO-standaardvraag voor geluidhinder [41]. Deze vraag informeert naar de mate van hinder in de afgelopen twaalf maanden door trillingen van treinen op het moment dat mensen thuis waren. Het betreft dus de mate van hinder gemiddeld over een jaar en zegt niets over de beleving van kortdurende variaties van de trillingssterkte door een enkele treinpassage. De hindervragen zijn gesteld voor treinverkeer in het algemeen, en specifiek voor reizigerstreinen, goederentreinen en spooronderhoud en/of enige andere activiteiten op het spoor. De hinderschaal loopt van 0 tot 10 en heeft dus 11 antwoordcategorieën. Bij de standaardvraag hoort een vaste manier voor het omrekenen van de individuele antwoorden naar een percentage gehinderden in de onderzoeksgroep, zoals weergegeven in Tekstbox 1 in Bijlage 9 [13].

4.3.1 (Ernstige) hinder door trillingen: hoe vaak komt het voor?

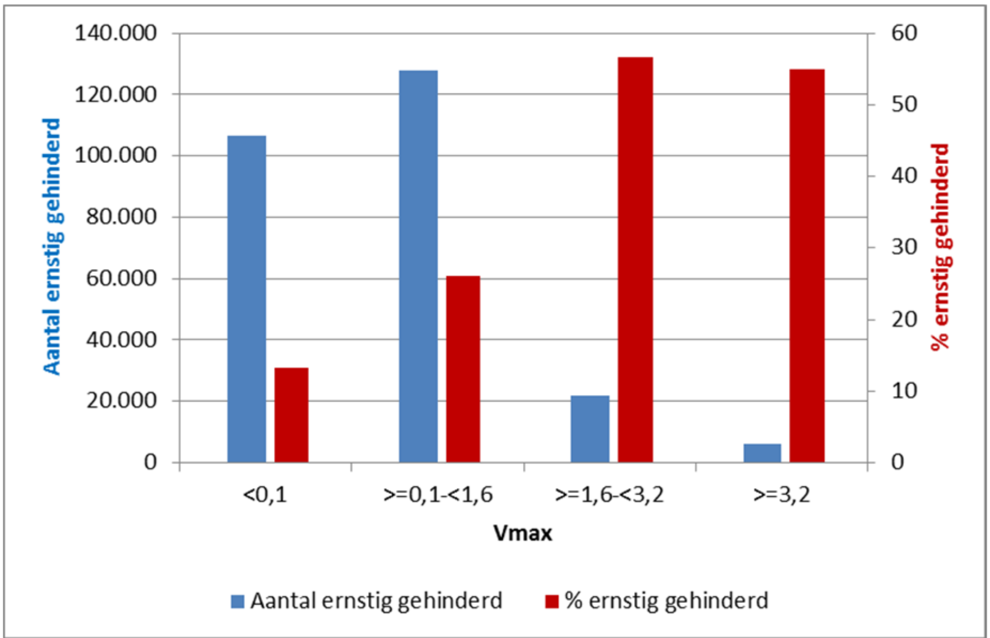
In Figuur 4.5 wordt het op basis van de survey geschatte optreden van ernstige hinder in het totale onderzoeksgebied weergegeven. De figuur laat zien dat trillingen veroorzaakt door zowel trein- als wegverkeer als belangrijkste bron van hinder wordt ervaren. Trillingen door treinverkeer veroorzaken de meeste hinder. Op basis van de resultaten van het onderzoek is geschat dat in 2013 naar schatting 20% (95% Bthi 16,9 – 22,1) van de personen van 16 jaar en ouder die in Nederland op 300 meter van het spoor wonen, ernstig wordt gehinderd door de trillingen van het treinverkeer.



Figuur 4.5 Prevalentie (in %) inclusief het 95% betrouwbaarheidsinterval van zelfgerapporteerde ernstige hinder door diverse bronnen van trillingen in het studiegebied in 2013.

In het onderzoek zijn verschillende spoor- en railbronnen onderzocht: goederentreinen, reizigerstreinen en spooronderhoud of enige andere activiteit op het spoor (bijvoorbeeld rangeren, treinen wassen). Het blijkt dat de trillingen veroorzaakt door goederentreinen verreweg de meeste hinder veroorzaken: het aandeel ernstig gehinderden bedraagt naar schatting 22,7% (95%Bthi: 19,6 – 25,8), terwijl het aandeel ernstig gehinderden door trillingen van reizigerstreinen wordt geschat op 3,0% (95%Bthi 1,9 – 4,2). Goederentreinen vormen dus het grootste probleem als het om trillingen gaat. Het percentage ernstig gehinderden door trillingen van goederentreinen is hoger dan voor treinverkeer in het algemeen. Dit is gerelateerd aan het feit dat het om de beantwoording van twee verschillende vragen uit de vragenlijst gaat. Als gevraagd wordt naar treinverkeer in het algemeen middelen respondenten de hinder van verschillende bronnen, terwijl de som van de score op de afzonderlijke vragen per type trein hoger uitvalt. Naar dit verschijnsel wordt ook wel verwezen als de gecombineerde geluid paradox: het verwijst naar het fenomeen dat totale hinder meestal overeenkomt of zelfs lager uitpakt dan die van de afzonderlijke bronnen, ook wel aangeduid als de cumulatie-paradox [42].

Om ten behoeve van het beleid een beeld te geven van het aantal en percentage ernstig gehinderden werd het percentage ernstige hinder gekoppeld aan de categorieën trillingen voor V_{max}. Per *blootstellings*niveau (V_{max}) wordt in onderstaande figuur (4.6) aangegeven wat de omvang van het probleem is.



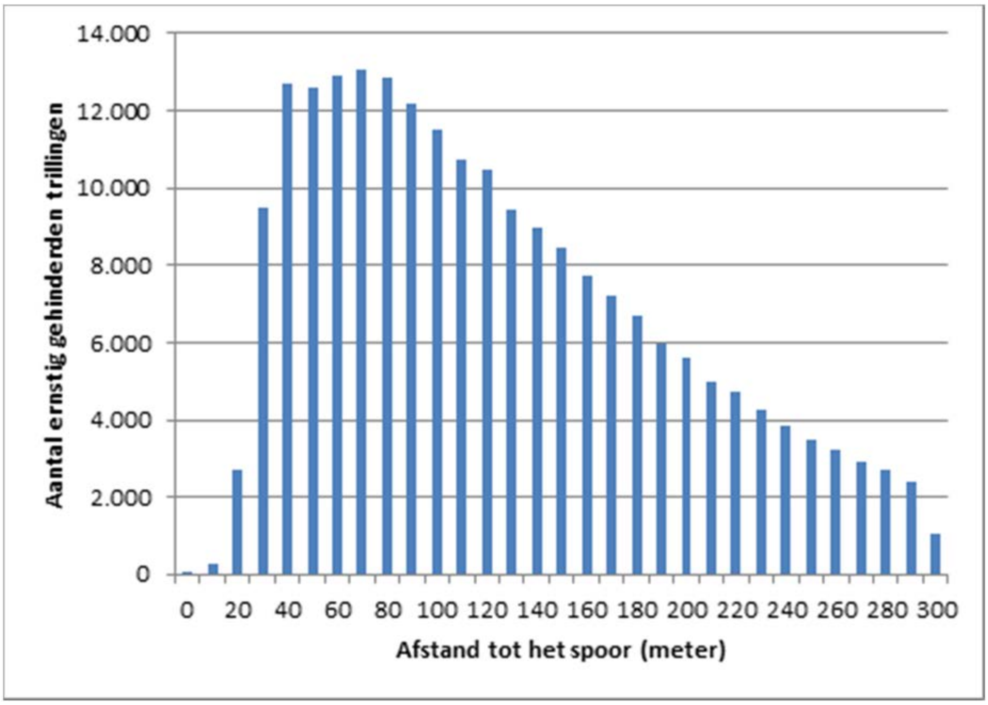
V_{max} categorie	Populatie 16+	% ernstig gehinderd (afgerond)	Aantal ernstig gehinderden
<0.1	808.000	13	107.000
>=0.1-<1.6	489.000	26	128.000
>=1.6-<3.2	39.000	57	22.000
>=3.2	11.000	55	6000
Totaal	1.347.000	20	263.000

* Aantallen zijn afgerond op 1000-tallen en tellen daardoor niet altijd op tot het totaal.

Figuur 4.6 Aantal en percentage ernstig gehinderden per blootstellingcategrorie (V_{max}).

De figuur laat de aantallen en percentages ernstig gehinderden zien per blootstellingscategorie gebaseerd op V_{max} onderverdeeld in vier categorieën (< 0,1, > =0,1- <1,6, >1,6- <3,2, > 3,2). Een aantal zaken valt hierbij op: ook beneden de voelbaarheidsgrens wordt ernstige hinder gerapporteerd (13%). Dat is ongeveer 41% van alle ernstig gehinderden. In de groep tot 1,6 is het percentage ernstig gehinderd 226%: dit betreft 49% van de totale groep ernstig gehinderden. In de groep boven de 1,6 en beneden de 3,2 grenswaarde is het percentage ernstig gehinderden 56,6%: dit is 8% van de totale groep ernstig gehinderden en boven de 3,2 is het percentage ernstig gehinderden 55%, maar zoals de figuur laat zien betreft het een beperkt aantal mensen en slechts 2% van alle ernstig gehinderden. In de figuur wordt zichtbaar dat de hoogste trillingsniveaus (≥ 3,2 mm/s) een relatief geringe bijdrage leveren aan de totale hoeveelheid ernstige hinder.

Weergave van de verdeling van de ernstig gehinderden over de afstandscategorieën illustreert dit eveneens duidelijk. Per blootstellingsniveau voor afstand wordt in onderstaande figuur (4.7) aangegeven wat de omvang van het probleem is.



Figuur 4.7 Aantal ernstig gehinderden per blootstellingsklassen op basis van afstand.

De figuur laat zien dat de meeste ernstig gehinderden op 40 tot 120 meter van het spoor wonen. Bij deze groep valt in principe ook veel gezondheidswinst te behalen bij een reductie van de ernstige hinder. Op kleine afstand van het spoor is de kans op ernstige hinder weliswaar veel groter, maar het aantal mensen dat aan deze kans blootgesteld wordt is veel kleiner.

4.3.2 *Relatie van ernstige hinder met trillingen van treinen*

Het is belangrijk om vast te stellen in welke mate de hinder die mensen rapporteren samenhangt met de trillingssterkte waaraan men is blootgesteld en in welke mate dat het geval is met andere persoonlijke en contextuele factoren. Hierover is voor treingerelateerde trillingen nog relatief weinig bekend. Het verband tussen de blootstelling aan trillingen door treinverkeer en ernstige hinder kan worden weergegeven als een blootstelling-effectrelatie (BE). Een BE- relatie relatie beschrijft bij elke trillingssterkte in het onderzoeksgebied welk percentage van de bevolking ernstige hinder zal ervaren. In dit onderzoek wordt een drietal indicatoren van trillingsblootstelling gehanteerd, zoals beschreven in paragraaf 3.1: afstand, RMS en V_{max} (zie Bijlagen 1 en 8). Omdat op basis van eerder onderzoek niet afgeleid kan worden welke indicator nu de beste maat is, wordt de samenhang tussen blootstelling en ernstige hinder voor alle drie de maten nader bekeken. De keuze voor V_{max} is onder andere gemaakt op grond van het feit dat V_{max} in de huidige Nederlandse regelgeving centraal staat (zie ook Tekstbox 1). De keuze voor RMS is gebaseerd op basis van de bevindingen van CargoVibes [2].

Tekstbox 1: V_{max} in relatie tot huidige regelgeving

De Bts geeft streefwaarden en grenswaarden voor de V_{max}. Deze zijn grotendeels overgenomen uit de SBR-richtlijn. Voor nieuwe situaties (aanleg van nieuwe sporen, toename frequenties, en bouwen van nieuwe woningen langs het spoor) bedraagt de streefwaarde 0,1 voor woningen. Als de grenswaarde wordt overschreden, zijn maatregelen nodig om aan de grenswaarde te voldoen. Deze hangt af van de periode: overdag en 's avonds is de grenswaarde 0,4, 's nachts is die 0,2. Als blijkt dat maatregelen niet doelmatig zijn, kunnen deze achterwege blijven. Dat geldt niet als een absoluut maximum van 3,2 wordt overschreden: dan mogen maatregelen niet uitblijven. Deze grenswaarde wordt gehanteerd in de Bts en SBR (Bijlage 8) voor zowel bestaande als nieuwe situaties, onder voorbehoud van 'langdurige' blootstelling. Voor korte duur, zoals bij bouwwerkzaamheden, wordt minder hard aan de 3,2 mm/s grenswaarde vastgehouden. De richtlijn verwijst naar de Noorse norm NS8176 als het gaat om de kwalificatie van 3,2.
Voor spoorlocaties waarbij de capaciteit wordt uitgebreid (meer treinen, geen aanleg nieuw spoor) moet worden getracht om de toename van de V_{max} tot 30% te beperken. Aanvullend gelden tweemaal zo hoge streef- en grenswaarden.
Bij het vergelijken van de V_{max}-waarden in deze survey met deze wettelijke grenzen moeten de volgende twee punten in aanmerking worden genomen:

1. Deze regels zijn alleen van kracht bij tracébesluiten. Voor bestaande situaties, dat wil zeggen sporen waar geen capaciteitsuitbreiding is voorzien, bestaan er geen regels voor trillingen.
2. De V_{max} in dit onderzoek is niet volgens de wettelijk voorgeschreven systematiek bepaald. De V_{max} moet namelijk op locatie met trillingsmetingen gedurende een week worden vastgesteld. De in dit onderzoek berekende V_{max} kan lokaal sterk afwijken* van de gemeten V_{max}, naar schatting een factor 10.

*Wat dit betekent voor de dosisresponsrelaties wordt in paragraaf 4.3.2 besproken.

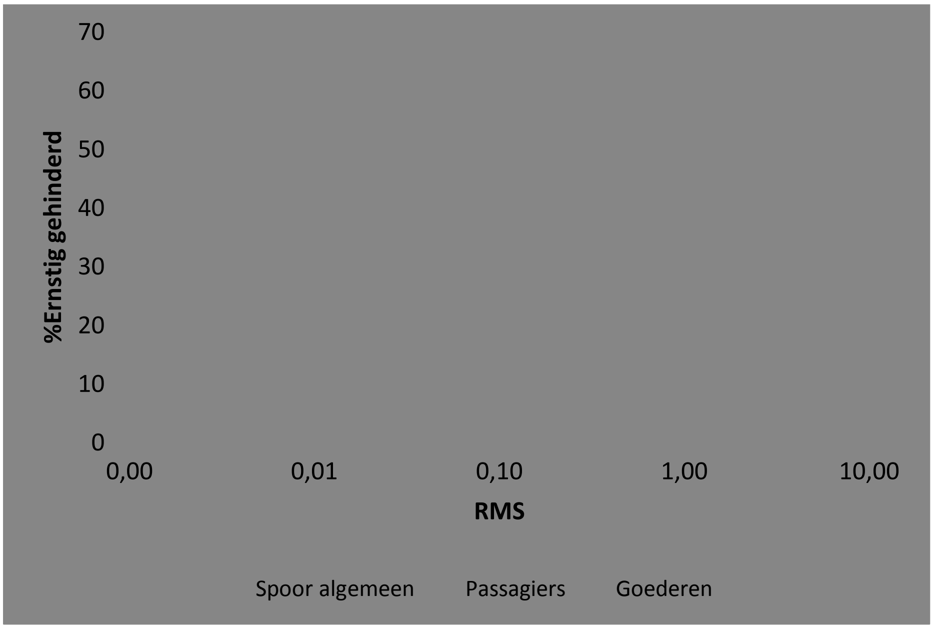
Op basis van de survey-data kon voor alle drie de blootstellingsindicatoren een relatie afgeleid worden met het percentage ernstige hinder door trillingen van goederen en reizigerstreinen.

In Figuur 4.8 wordt de relatie gepresenteerd tussen de maximale trillingssterkte (V_{max}) veroorzaakt door trillingen van respectievelijk treinverkeer, reizigerstreinen en goederentreinen en het percentage ernstige hinder door trillingen van deze treinen. Voor alle drie de spoorbronnen is er een verband te zien tussen het percentage ernstig gehinderden door trillingen van treinverkeer en de maximale trillingssterkte.



Figuur 4.8 De relatie tussen de blootstelling aan trillingen van respectievelijk treinverkeer, reizigerstreinen en goederentreinen (V_{max}) en het aandeel van de populatie dat ernstige hinder door trillingen van deze treinen ervaart. Ook is per spoorbron de prevalentie (met 95% betrouwbaarheidsinterval) van ernstige hinder per deciel te zien.

In Figuur 4.9 wordt de relatie gepresenteerd tussen trillingssterkte (RMS) veroorzaakt door trillingen van respectievelijk treinverkeer, reizigerstreinen en goederentreinen en het percentage ernstige hinder door trillingen van deze treinen. Voor alle drie de spoorbronnen is er een verband te zien tussen het percentage ernstig gehinderden door trillingen van treinverkeer en de trillingssterkte.



Figuur 4.9 De relatie tussen de blootstelling aan trillingen van treinverkeer (RMS) en het aandeel van de populatie dat ernstige hinder door trillingen van treinen ervaart. Ook is per spoorbron de prevalentie (met 95% betrouwbaarheidsinterval) van ernstige hinder per deciel te zien.

In Figuur 4.10 wordt de relatie gepresenteerd tussen de afstand tot het spoor en het percentage ernstige hinder door trillingen van treinverkeer.
Voor alle drie de spoorbronnen is er een verband te zien tussen het percentage ernstig gehinderden door trillingen van treinverkeer en de afstand.



Figuur 4.10 De relatie tussen de afstand tot het spoor en het aandeel van de bevolking dat ernstige hinder door trillingen van respectievelijk treinverkeer, reizigerstreinen en goederentreinen rapporteert. Ook is per spoorbron de prevalentie (met 95% betrouwbaarheidsinterval) van ernstige hinder per deciel te zien.

4.3.3 *Relatie van ernstige hinder met andere factoren*

Het relatieve belang van de determinanten van hinder werd stapsgewijs geanalyseerd aan de hand van logistische regressie (voor details zie Bijlage 6). De keuze van uiteindelijk in het model op te nemen situationele, contextuele en persoonlijke variabelen werd voor een belangrijk deel bepaald door bevindingen uit eerder onderzoek (zie hoofdstuk 1), theorie en de sterkte van het verband door non-parametrische exploratie.

In Tabel 4.1 wordt het resultaat van de logistische regressieanalyse weergegeven voor de relatie tussen de maximale trillingssterkte door treinverkeer en ernstige hinder door respectievelijk treinverkeer in het algemeen en reizigerstreinen en goederentreinen in het bijzonder. Uit de tabel blijkt dat de maximale trillingssterkte door treinverkeer een significante voorspeller is voor de ervaren hinder door trillingen van treinverkeer. Als de maximale trillingssterkte door treinverkeer met 0,1 mm/s toeneemt, neemt de kans op ernstige hinder door trillingen van treinverkeer gemiddeld toe met ongeveer 5%. Bij een toename van de maximale trillingssterkte van 0,1 mm/s door trillingen van reizigerstreinen neemt de kans op ernstige hinder door trillingen van deze treinen gemiddeld toe met zo'n 6%. Wanneer de maximale trillingssterkte door trillingen van goederentreinen met 0,1 mm/s toeneemt, neemt de kans op hinder toe met naar schatting gemiddeld ongeveer 5%.

Tabel 4.1 De relatie tussen de maximale blootstelling aan trillingen door treinverkeer en ernstige hinder door trillingen van treinverkeer.

Variabele	**Ernstige hinder door trillingen treinverkeer**	**Ernstige hinder door trillingen reizigers-treinen**	**Ernstige hinder door trillingen goederen-treinen**
	OR (95% Bthi)	**OR (95% Bthi)**	**OR (95% Bthi)**
Blootstelling trillingen V_{max} mm/s) Treinverkeer Reizigerstreinen Goederentreinen	1,050 (1,024 – 1,076)**	1,065 (1,035 – 1,095)**	1,053 (1,028 – 1,078)**
Aandeel goederen-treinen (%)*	1,020 (0,860 – 1,219)	0,761 (0,631 – 0,923)**	1,062 (0,942 – 1,184)
Ratio dag/nacht (%) †	0,937 (0,873 – 1,004)	0,972 (0,914 – 1,034)	1,003 (0,988 – 1,018)
Grondsoort			
Leem	1,590 (0,213 – 11,872)	0,840 (0,192 – 3,665)	0,333 (0,066 – 1,675)
Veen	0,768 (0,289 – 2,044)	1,007 (0,244 – 4,161)	1,533 (0,537 – 4,380)
Zand	0,308 (0,128 – 0,742)**	0,162 (0,038 – 0,683)**	0,736 (0,284 – 1,909)
Zavel	0,425 (0,092 – 1,973)	0,066 (0,010 – 0,413)**	0,441 (0,089 – 2,181)
Klei	*Ref*	*Ref*	*Ref*
Stedelijkheid‡			
Zeer sterk stedelijk	0,616 (0,265 – 1,436)	2,430 (0,861 – 6,854)	0,315 (0,152 – 0,652)**
Sterk stedelijk	0,843 (0,367 – 1,933)	0,904 (0,342 – 2,389)	0,549 (0,251 – 1,200)
Matig stedelijk	0,461 (0,194 – 1,092)	0,515 (0,183 – 1,449)	0,472 (0,238 – 0,935)**
Weinig stedelijk	1,062 (0,455 – 2,480)	1,179 (0,302 – 4,594)	0,784 (0,368 – 1,672)
Niet stedelijk	*Ref*	*Ref*	*Ref*
Geluidniveau door treinverkeer (L_{den}) in dB(A)	1,016 (0,982 – 1,050)	0,983 (0,935 – 1,033)	1,021 (0,993 – 1,050)
Vrouw	1,206 (0,709 – 2,049)	1,102 (0,626 – 1,940)	0,820 (0,487 – 1,380)
Leeftijd			
16 – 44 jr	*Ref*	*Ref*	Ref

Variabele	**Ernstige hinder door trillingen treinverkeer**	**Ernstige hinder door trillingen reizigers-treinen**	**Ernstige hinder door trillingen goederen-treinen**
	OR (95% Bthi)	**OR (95% Bthi)**	**OR (95% Bthi)**
45 – 64 jr 65 jr en ouder	1,427 (0,770 – 2,644) 1,798 (0,891 – 3,628)	0,557 (0,265 – 1,172) 1,359 (0,419 – 4,406)	0,899 (0,504 – 1,603) 0,635 (0,297 – 1,360)
Opleiding Lager onderwijs MAVO/LBO HAVO/VWO/MBO HBO/WO	0,677 (0,229 – 1,997) 1,096 (0,620 – 1,937) *Ref* 1,066 (0,566 – 2,007)	5,662 (0,995 – 32,209) 2,232 (0,878 – 5,674) *Ref* 1,104 (0,542 – 2,251)	0,936 (0,284 – 3,088) 0,932 (0,470 – 1,847) Ref 0,947 (0,507 – 1,769)
Hoort, voelt, ziet ramen, deuren en/of serviesgoed rammelen, trillen	3,715 (2,270 – 6,078)**	2,192 (1,140 – 4,215)**	2,395 (1,378 – 4,162)**
Bezorgdheid over schade aan woning door trillingen	6,964 (3,870 – 12,534)**	3,284 (1,649 – 6,542)**	5,479 (2,851 – 10,529)**
Negatieve attitude tov huidig beleid tav treinverkeer langs het spoor	1,674 (0,900 – 3,016)	3,519 (1,529 – 8,098)**	1,811 (0,985 – 3,330)
Negatieve attitude t.o.v. plannen om het huidige treinverkeer in Nederland op sommige plekken uit te breiden	1,380 (0,736 – 2,590)	2,397 (1,093 – 5,255)**	1,366 (0,716 – 2,604)
Trillingen door treinen zijn (zeer) onacceptabel	2,614 (1,556 – 4,366)**	2,309 (1,041 – 5,120)**	4,767 (2,849 – 7,975)**
Verwacht een achteruitgang door trillingen van de treinen	2,762 (1,540 – 4,955)**	2,415 (1,042 – 5,599)**	2,822 (1,565 – 5,089)**

* Berekend door het aantal bakken goederentreinen per etmaal te delen door het totaal aantal bakken per etmaal. De OR is een OR voor de toename van het aandeel goederentreinen van 10%; † Verhouding tussen aantal treinen in de dag- en avondperiode en de nachtperiode; ‡ Stedelijkheid is een maatstaf voor de concentratie van menselijke activiteiten gebaseerd op gemiddelde omgeving adressendichtheid (oad) uitgedrukt in het aantal adressen per km^2. Er wordt onderscheid gemaakt tussen niet stedelijk (gemiddelde oad van minder dan 500 adressen per km^2), weinig stedelijk (gemiddelde oad van 500 tot 1000 adressen per km^2), matig stedelijk (gemiddelde oad van 1000 tot 1500 adressen per km^2), sterk stedelijk (gemiddelde oad van 1500 tot 2500 adressen per km^2) en zeer sterk stedelijk (gemiddelde oad van meer dan 2500 adressen per km^2). †† OR voor de toename van de blootstelling in maximale trillingssterkte van 0,1 mm/s. Afkortingen: OR = Odds Ratio, 95% Bthi = 95% betrouwbaarheidsinterval, L_{den} = Day-evening night level, ** = statistisch significant.

Naast de blootstelling aan trillingen blijken ook het aandeel goederentreinen, bodemtype en de mate van stedelijkheid een rol te spelen. Er werd een significante afname in de kans op ernstige hinder door trillingen van *reizigers*treinen gevonden wanneer het aandeel goederentreinen toeneemt: als het aandeel *goederen*treinen met 10% toeneemt, zal naar schatting de kans op ernstige hinder door trillingen van *reizigers*treinen met bijna 24% afnemen. Dit wijst erop dat mensen die blootgesteld worden aan zowel trillingen van

reizigerstreinen als goederentreinen vooral gehinderd worden door de passerende goederentreinen.

Verder blijkt uit de tabel dat bewoners van woningen gebouwd op zandgrond significant minder hinder rapporteren door trillingen van zowel treinverkeer in het algemeen, als reizigerstreinen in het bijzonder, dan bewoners van woningen gebouwd op kleigrond. Personen die in een matig of zeer stedelijk gebied wonen, rapporteren significant minder hinder door trillingen van goederentreinen dan personen die in een niet-stedelijk gebied wonen. Het geluidniveau dat door het treinverkeer wordt veroorzaakt en de verhouding tussen het aantal treinen dat overdag dan wel in de nacht rijdt, lijkt niet van invloed te zijn op de hoeveelheid gerapporteerde hinder door trillingen van het treinverkeer. Uit de tabel blijkt dat sociaaldemografische factoren zoals geslacht, leeftijd en opleiding niet van invloed zijn op de mate van gerapporteerde hinder.

Sociale en persoonlijke factoren blijken sterk van invloed te zijn op de mate van ervaren hinder. In dit onderzoek is een aantal aspecten gemeten die iets zeggen over de houding en attitude ten opzichte van de treinen en de trillingen die mensen in de toekomst verwachten. Zo ervaren mensen die verwachten dat de trillingen als gevolg van de treinen het komende jaar erger zullen worden, meer hinder dan de mensen die verwachten dat de trillingen gelijk blijven of zullen afnemen. Ook bezorgdheid over schade aan de woning door trillingen leidt tot significant meer ervaren hinder door de trillingen van het treinverkeer. Bovendien ervaren mensen die de trillingen door de treinen (zeer) onacceptabel vinden, meer hinder door trillingen van het treinverkeer. Personen die de trillingen waarnemen doordat ze de ramen, deuren of het serviesgoed horen, voelen of zien trillen en rammelen ervaren significant meer hinder door de trillingen van de treinen. Ook de houding ten opzichte van het huidige beleid en uitbreiding van het aantal treinen speelt een belangrijke rol als het gaat om de hinder die wordt ervaren door trillingen door reizigerstreinen: mensen die negatief staan ten opzichte van het huidige beleid ten aanzien van treinverkeer langs het spoor ervaren meer hinder door de trillingen van deze treinen dan mensen die hier neutraal of positief tegenover staan. Ook mensen die negatief staan ten opzichte van plannen om het huidige treinverkeer in Nederland op sommige plekken uit te breiden ervaren significant meer hinder door trillingen van deze treinen dan mensen die hier neutraal of positief tegenover staan.
Er zit overigens sterke overlap tussen de verschillende attitudevragen. De invloed van de afzonderlijke vragen is sterk, maar multivariate analyse laat zien dat de bezorgdheid over schade er uitspringt.
In de tabel ontbreken de gegevens over factoren als woningtype en bouwhoogte. De rol van deze factoren is wel onderzocht, maar het is gebleken dat deze geen grote invloed hebben op de ervaren hinder door trillingen van treinverkeer.

Ook in relatie tot de afstand tot het spoor (in meters) en de trillingssterkte uitgedrukt in RMS (in mm/s^2) is een logistische regressieanalyse uitgevoerd. In Tabel 4.2 zijn de gecorrigeerde ORs voor deze twee blootstellingsindicatoren samen met de gecorrigeerde OR voor de V_{max} te zien.
Uit de tabel blijkt dat, net als bij de V_{max}, na correctie voor potentieel verstorende factoren, een relatie wordt gevonden tussen de blootstelling aan trillingen uitgedrukt in RMS en ernstige hinder door treinverkeer in het algemeen en goederen- en reizigerstreinen in het bijzonder. Als de trillingssterkte door treinverkeer met 0,1 mm/s^2 toeneemt, neemt de kans op ernstige hinder door trillingen van treinverkeer gemiddeld toe met ruim 7%. Bij een toename van de trillingssterkte met 0,1 mm/s^2 door trillingen van reizigerstreinen neemt de kans

op ernstige hinder door trillingen van deze treinen gemiddeld toe met bijna 7%. Wanneer de trillingssterkte door trillingen van goederentreinen met 0,1 mm/s^2 toeneemt, neemt de kans op hinder toe met naar schatting gemiddeld bijna 19%. Na correctie voor een aantal potentieel verstorende factoren, wordt er alleen een statistisch significante relatie gevonden tussen de afstand tot het spoor en ernstige hinder door trillingen van goederentreinen.

*Tabel 4.2 De associatie tussen de blootstelling aan trillingen door treinverkeer en ernstige hinder door trillingen van treinverkeer na correctie voor potentieel verstorende factoren.**

	Ernstige hinder door trillingen treinverkeer	**Ernstige hinder door trillingen reizigerstreinen**	**Ernstige hinder door trillingen goederentreinen**
Blootstellingsindicator	OR_{adj} (95% Bthi)	OR_{adj} (95% Bthi)	OR_{adj} (95% Bthi)
Afstand tot het spoor (in m)†	0,961 (0,895 – 1,020)	1,000 (0,904 – 1,116)	0,923 (0,851 – 0,990)**
RMS (mm/s^2)‡ door Treinverkeer Reizigerstreinen Goederentreinen	1,071 (1,033 – 1,110)**	1,068 (1,032 – 1,105)**	1,189 (1,096 – 1,290)**
V_{max} (mm/s)†† door Treinverkeer Reizigerstreinen Goederentreinen	1,050 (1,024 – 1,076)**	1,065 (1,035 – 1,095)**	1,053 (1,028 – 1,078)**

* Er is gecorrigeerd voor de variabelen uit Tabel 4.1: OR voor de toename in afstand van het spoor van 10 meter;‡ OR voor de toename van de blootstelling in trillingssterkte van 0,1 mm/s^2; †† OR voor de toename van de blootstelling in maximale trillingssterkte van 0,1 mm/s. Afkortingen: OR_{adj} = voor potentieel verstorende factoren gecorrigeerde Odds Ratio, 95% Bthi: 95% betrouwbaarheidsinterval, ** = statistisch significant.

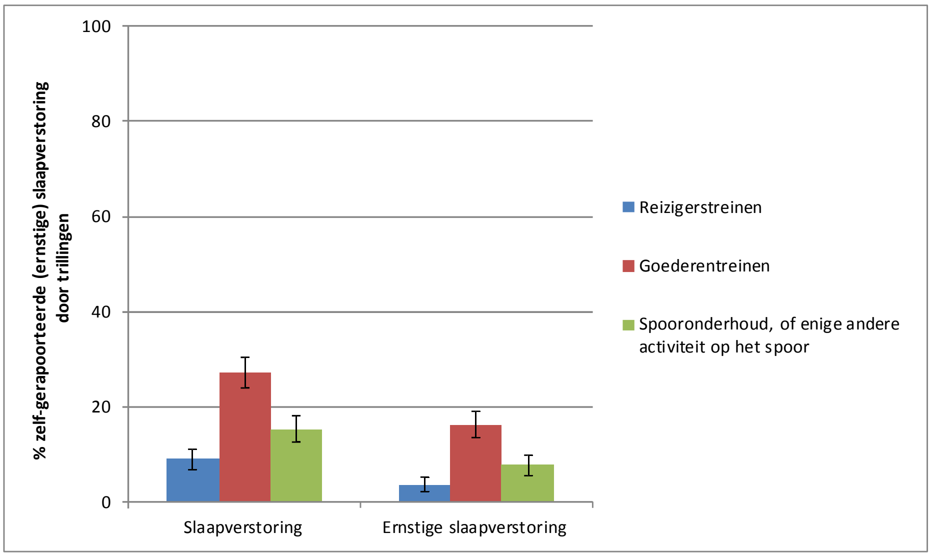
4.4 Slaapverstoring

Net als nachtelijk geluid kunnen nachtelijke trillingen ook van invloed zijn op de slaap. Effecten van blootstelling aan nachtelijk geluid kunnen zich manifesteren in veranderingen van het slaapgedrag, de structuur van de slaap, fysiologische aspecten en effecten op de periode na de slaap. Er zijn verschillende effecten gemeten die in ernst variëren. Daarbij kan onderscheid worden gemaakt tussen biologische (acute) reacties (bijvoorbeeld hartslagversnelling en motorische onrust) en (lange termijn) effecten op de gezondheid en het welbevinden (bijvoorbeeld zelfgerapporteerde slaapverstoring, verminderde slaapkwaliteit, slapeloosheid, het gebruik van slaapmiddelen, vermoeidheid overdag). Volgens zowel de Gezondheidsraad als de Wereldgezondheidsorganisatie [43, 44] is er voldoende bewijs dat nachtelijk geluid de slaapkwaliteit en het algemeen welbevinden nadelig beïnvloedt. De WHO heeft een richtlijnwaarde opgesteld van 40 L_{night} [43].

In tegenstelling tot de nachtelijke blootstelling aan geluid is er over de effecten van de nachtelijke blootstelling aan trillingen veel minder bekend. Als onderdeel van het Europese project CargoVibes zijn recent twee experimenten uitgevoerd waarin de effecten van kortdurende blootstelling aan trillingen van treinen zijn onderzocht [45, 46]. Ten gevolge van de nachtelijke blootstelling aan trillingen van goederentreinen gedurende een nacht bleek de hartslag te versnellen. Ook werd door de deelnemers een verminderde slaapkwaliteit en meer slaapverstoring gerapporteerd.

In dit onderzoek richten we ons op effecten die optreden ten gevolge van langdurige blootstelling aan trillingen door treinverkeer. Effecten die in dit verband zijn gerapporteerd, betreffen zelfgerapporteerde slaapverstoring en slaapkwaliteit [1]. Slaapverstoring is een specifieke vorm van hinder en wordt, analoog aan hinder, vaak gemeten met een directe vraag. Uit de schaarse observationele studies [16] die er tot nog toe zijn verricht, komen aanwijzingen dat trillingen veroorzaakt door treinverkeer van invloed kunnen zijn op de slaap: de kans op verstoring van de slaap nam toe bij een toenemende blootstelling aan trillingen door treinverkeer. Voor de hypothese dat blootstelling aan trillingen tijdens de nacht en avond hinderlijker zijn dan blootstelling aan trillingen overdag, zijn vooralsnog geen eenduidige aanwijzingen gevonden.
In de vragenlijst is gevraagd in welke mate de slaap van mensen de afgelopen twaalf maanden werd verstoord door trillingen van treinverkeer op het moment dat ze thuis waren. Dit is gevraagd specifiek voor reizigerstreinen, goederentreinen en spooronderhoud/enige andere activiteiten op het spoor. Net als bij hinder loopt de schaal van 0 tot 10 en heeft dus 11 antwoordcategorieën. Het omrekenen van de individuele antwoorden naar een percentage ernstige slaapverstoring in de onderzoeksgroep is op dezelfde manier gedaan als bij hinder (zie Bijlage 9).

4.4.1 Slaapverstoring door trillingen: hoe vaak komt het voor?



Figuur 4.11 Prevalentie van (ernstige) slaapverstoring door trillingen van treinen.

In Figuur 4.11 wordt het voorkomen van (ernstige) slaapverstoring door verschillende soorten railverkeer in het totale onderzoeksgebied weergegeven. Deze cijfers zijn gebaseerd op een schatting uit de survey. De figuur laat zien dat trillingen van goederentreinen als belangrijkste bron van slaapverstoring worden ervaren. Op basis van de resultaten van het onderzoek is geschat dat in 2013 bij naar schatting 16,3% (95% Bthi 13,5 – 19,1) van de personen van 16 jaar en ouder die in Nederland op 300 meter van het spoor wonen, ernstige slaapverstoring door de trillingen van goederentreinen optreedt, versus 3,6% voor reizigerstreinen (95% Bthi 2,1 – 5,1), en 7,8% (95% Bthi 5,7 – 10,0) voor spooronderhoud en/of enige andere activiteiten op het spoor.

4.4.2 *Relatie van ernstige slaapverstoring met trillingen van treinen*

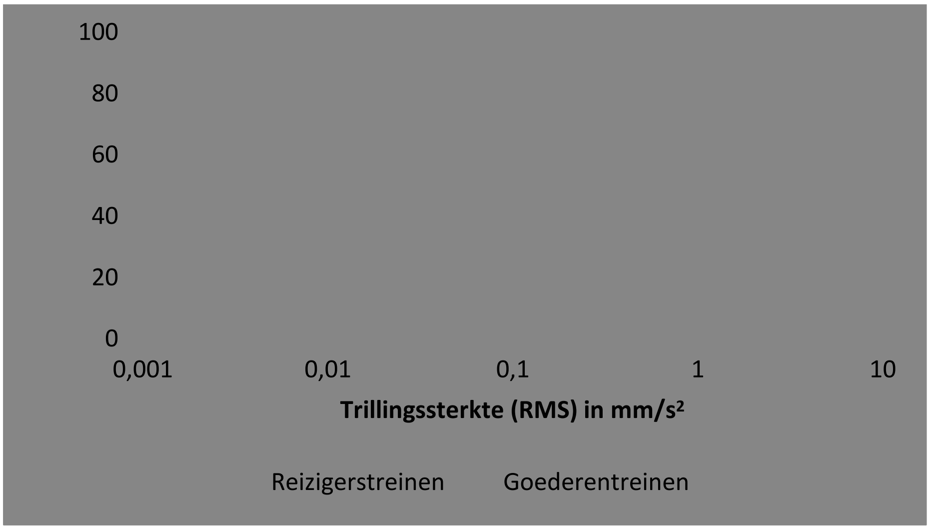
Op basis van de survey-data was het mogelijk om relaties af te leiden tussen de blootstelling aan trillingssterktes door respectievelijk goederen- en reizigerstreinen en het percentage ernstige slaapverstoring door trillingen veroorzaakt door deze treinen.
In Figuur 4.12 wordt de relatie tussen de blootstelling aan maximale trillingssterkte door respectievelijk goederen- en reizigerstreinen en het percentage ernstige slaapverstoring dat samenhangt met deze treinen gepresenteerd.



Figuur 4.12 Relatie tussen blootstelling aan trillingen door respectievelijk reizigers- en goederentreinen in V_{max} en zelfgerapporteerde ernstige slaapverstoring door trillingen van deze treinen. Ook is per spoorbron de prevalentie van (met 95% betrouwbaarheidsinterval) van ernstige slaapverstoring per deciel te zien.

De figuur toont dat relatie tussen V_{max} en het percentage ernstige slaapverstoring door trillingen van goederentreinen sterker lijkt te zijn dan die voor reizigerstreinen.

Op basis van de survey-data is ook een relatie afgeleid tussen de trillingssterkte in RMS en het percentage ernstige slaapverstoring door trillingen van zowel goederen- als reizigerstreinen. In Figuur 4.13 wordt de relatie tussen de blootstelling aan trillingssterktes door respectievelijk goederen- en reizigerstreinen en het percentage ernstige slaapverstoring dat samenhangt met deze treinen gepresenteerd. Voor beide spoorbronnen is er een verband te zien tussen het percentage ernstige slaapverstoring door trillingen van treinverkeer en de trillingssterkte. Daarbij lijkt het alsof de relatie tussen RMS en het percentage ernstige slaapverstoring door trillingen van goederentreinen sterker is dan voor reizigerstreinen (lijn voor goederentreinen loopt iets steiler).



Figuur 4.13 De relatie tussen de blootstelling aan trillingen door goederen- en reizigerstreinen (in RMS) en het aandeel van de bevolking dat ernstige slaapverstoring door trillingen van deze treinen rapporteert. Ook is per spoorbron de prevalentie van (met 95% betrouwbaarheidsinterval) van ernstige slaapverstoring per deciel te zien.

Op basis van de survey-data is ook een relatie afgeleid tussen de afstand tot het spoor en het percentage ernstige slaapverstoring door trillingen van zowel goederen- als reizigerstreinen. Deze wordt gepresenteerd in Figuur 4.14. Voor beide spoorbronnen is er een verband te zien tussen het percentage ernstige slaapverstoring door trillingen van treinverkeer en de afstand.



Figuur 4.14 De relatie tussen de afstand tot het spoor en het aandeel van de bevolking dat ernstige slaapverstoring door trillingen van respectievelijk goederen- en reizigerstreinen rapporteert. Ook is per spoorbron de prevalentie van (met 95% betrouwbaarheidsinterval) van ernstige slaapverstoring per deciel te zien.

4.4.3 *Relatie van ernstige slaapverstoring met andere factoren*

In Tabel 4.3 is het resultaat van de logistische regressieanalyse weergegeven voor de relatie tussen de maximale trillingssterkte door treinverkeer en ernstige slaapverstoring door reizigerstreinen en goederentreinen. In de vragenlijst was geen vraag opgenomen naar slaapverstoring door alle treinverkeer.

Tabel 4.3 De relatie (in Odds Ratio's) tussen de maximale blootstelling aan trillingen door treinverkeer en ernstige slaapverstoring door trillingen van reizigerstreinen en goederentreinen.

Variabele	**Ernstige slaapver-storing door trillingen reizigerstreinen**	**Ernstige slaapver-storing door trillingen goederentreinen**
	OR (95% Bthi)	**OR (95% Bthi)**
Blootstelling trillingen V_{max} (in mm/s)†† Reizigerstreinen Goederentreinen	1,032 (0,991 – 1,075)	1,039 (1,015 – 1,001)**
Aandeel goederentreinen (%)*	0,868 (0,722 – 1,041)	1,083 (0,951 – 1,243)
Ratio dag/nacht (%)†	0,909 (0,849 – 0,974)**	0,993 (0,979 – 1,007)
Grondsoort Leem Veen Zand Zavel Klei	1,166 (0,148 – 9,191) 1,824 (0,285 – 11,697) 0,251 (0,053 – 1,195) 0,034 (0,003 – 0,402)** *Ref*	0,196 (0,020 – 1,950) 3,272 (0,916 – 11,695) 0,747 (0,182 – 3,075) 0,486 (0,082 – 2,898) *Ref*
Stedelijkheid‡ Zeer sterk stedelijk Sterk stedelijk Matig stedelijk Weinig stedelijk Niet stedelijk	0,520 (0,089 – 3,041) 0,703 (0,216 – 2,290) 0,219 (0,055 – 0,862)** 2,669 (0,887 – 8,034) *Ref*	0,314 (0,124 – 0,795)** 0,445 (0,201 – 0,985)** 1,010 (0,477 – 2,141) 1,096 (0,511 – 2,354) *Ref*
Geluidniveau door treinverkeer tijdens de nacht (L_{night}) in dB(A)	0,986 (0,940 – 1,035)	0,992 (0,960 – 1,026)
Slaapkamer ligt op de derde verdieping of hoger	7,722 (1,994 – 29,898)**	2,448 (0,906 – 6,615)
Ramen zijn zomer *of* winter dicht Ramen zijn zomer en winter open Ramen zijn zomer én winter dicht	0,138 (0,045 – 0,423)** 0,579 (0,242 – 1,388) *Ref*	0,655 (0,291 – 1,478) 0,712 (0,307 – 1,647) *Ref*
Dubbele beglazing in de slaapkamer	0,967 (0,432 – 2,162)	1,123 (0,619 – 2,039)
Vrouw	0,969 (0,485 – 1,934)	1,012 (0,612 – 1,673)
Leeftijd 16 – 44 jr 45 – 64 jr 65 jr en ouder	*Ref* 0,733 (0,333 – 1,614) 0,905 (0,266 – 3,078)	*Ref* 0,978 (0,569 – 1,679) 0,610 (0,271 – 1,369)

Opleiding Lager onderwijs MAVO/LBO HAVO/VWO/MBO HBO/WO	4,313 (0,873 – 21,309) 4,505 (1,562 – 12,995)** *Ref* 0,721 (0,280 – 1,857)	0,083 (0,008 – 0,868)** 0,890 (0,370 – 2,141) *Ref* 1,117 (0,640 – 1,949)
Hoort, voelt, ziet ramen, deuren en/of serviesgoed rammelen, trillen	0,962 (0,434 – 2,129)	3,412 (1,990 – 5,849)**
Bezorgdheid over schade aan woning door trillingen	5,752 (2,120 – 15,605)**	3,045 (1,651 – 5,617)**
Negatieve attitude tov huidig beleid tav treinverkeer langs het spoor	4,080 (1,695 – 9,821)**	3,808 (1,965 – 7,378)**
Negatieve attitude tov plannen om het huidige treinverkeer in Nederland op sommige plekken uit te breiden	1,623 (0,626 – 4,209)	1,664 (0,841 – 3,293)
Trillingen door treinen zijn (zeer) onacceptabel	0,863 (0,261 – 2,857)	3,393 (1,699 – 6,778)**
Verwacht een achteruitgang door trillingen van de treinen	6,854 (2,001 – 23,474)**	2,604 (1,315 – 5,155)**

* Berekend door het aantal bakken goederentreinen per etmaal te delen door het totaal aantal bakken per etmaal. De OR is een OR voor de toename van het aandeel goederentreinen van 10%; † Verhouding tussen aantal treinen in de dag- en avondperiode en de nachtperiode; ‡ Stedelijkheid is een maatstaf voor de concentratie van menselijke activiteiten gebaseerd op gemiddelde omgeving adressendichtheid (oad) uitgedrukt in het aantal adressen per km^2. Er wordt onderscheid gemaakt tussen niet-stedelijk (gemiddelde oad van minder dan 500 adressen per km^2), weinig stedelijk (gemiddelde oad van 500 tot 1000 adressen per km^2), matig stedelijk (gemiddelde oad van 1000 tot 1500 adressen per km^2), sterk stedelijk (gemiddelde oad van 1500 tot 2500 adressen per km^2) en zeer sterk stedelijk (gemiddelde oad van meer dan 2500 adressen per km^2). †† OR voor de toename van de blootstelling in maximale trillingssterkte van 0,1 mm/s. Afkortingen: OR = Odds Ratio, 95% Bthi = 95% betrouwbaarheidsinterval, ** = statistisch significant.

Uit de tabel blijkt dat na correctie voor een aantal potentieel verstorende factoren, alleen nog maar een statistisch significante associatie wordt gevonden tussen de maximale trillingssterkte en ernstige slaapverstoring door trillingen van goederentreinen. Als de maximale trillingssterkte door goederentreinen met 0,1 mm/s toeneemt, neemt de kans op ernstige slaapverstoring door trillingen van goederentreinen gemiddeld toe met bijna 4%.

Als het gaat om de kans op ernstige slaapverstoring door trillingen van de reizigerstreinen, dan blijkt de verhouding tussen het aantal treinen tijdens de dag- en de nachtperiode een rol te spelen. Als er ‘s nachts minder treinen rijden ten opzichte van de dag zal de ratio toenemen. Oftewel, bij minder treinen ‘s nachts is er minder slaapverstoring.

In relatie tot de ervaren slaapverstoring door de trillingen van goederentreinen, lijkt de verhouding tussen het aantal treinen tijdens de dag- en de nachtperiode geen rol te spelen. Voor zowel slaapverstoring door trillingen van goederen- als reizigerstreinen lijkt het aandeel goederentreinen niet van belang te zijn. Personen die in een gebied met zavelgrond wonen, ervaren minder slaapverstoring door reizigerstreinen dan personen die in een gebied met kleigrond wonen. Ook is er een effect van stedelijkheid: personen die in een

sterk tot zeer sterk stedelijk gebied wonen ervaren minder slaapverstoring door trillingen van treinverkeer dan personen die in een niet-stedelijk gebied wonen. Voor ernstige slaapverstoring door trillingen van goederentreinen was dit verschil statistisch significant. Net als bij hinder door trillingen van treinverkeer, lijkt het nachtelijke geluidniveau dat door het treinverkeer wordt veroorzaakt niet van invloed te zijn op de gerapporteerde slaapverstoring.

De ligging van de slaapkamer lijkt een rol te spelen bij de ervaren slaapverstoring door trillingen van treinen, maar is alleen significant voor reizigerstreinen. Personen wier slaapkamer op de derde verdieping of hoger ligt, ervaren meer slaapverstoring door reizigerstreinen dan personen wier slaapkamer op de tweede verdieping of lager ligt. Of de ramen open of dicht staan in de winter en de zomer lijkt ook uit te maken: mensen die hun ramen altijd dicht hebben rapporteren meer slaapverstoring. Mogelijk kiezen deze mensen ervoor om ramen dicht te houden om verstoring te voorkomen, maar dat is niet afdoende, terwijl mensen die er minder last van hebben met de ramen open slapen. Het lijkt niet uit te maken of de slaapkamer beschikt over dubbele beglazing. Net als bij hinder, zijn sociaaldemografische factoren zoals geslacht en leeftijd niet van invloed op de hoeveelheid slaapverstoring die wordt gerapporteerd. Wel zien we dat de mensen met een lagere opleiding (Lager onderwijs, en MAVO/LBO) ten opzichte van hoger opgeleide mensen juist meer slaapverstoring door trillingen van reizigerstreinen rapporteren, maar minder slaapverstoring door goederentreinen.

Sociale en persoonlijke factoren blijken sterk van invloed te zijn op de hoeveelheid ervaren slaapverstoring. Zo ervaren mensen die verwachten dat de trillingen als gevolg van de treinen het komende jaar erger zullen worden, meer slaapverstoring dan de mensen die verwachten dat de trillingen gelijk blijven of zullen afnemen. Ook bezorgdheid over schade aan de woning door trillingen hangt significant samen met ervaren slaapverstoring door de trillingen van het treinverkeer. Over de richting van dit verband kunnen geen uitspraken gedaan worden.
Mensen die negatief staan ten opzichte van het huidige beleid ten aanzien van treinverkeer langs het spoor ervaren meer slaapverstoring door de trillingen van zowel goederen- als reizigerstreinen, dan mensen die hier neutraal of positief tegenover staan. Ook ervaren mensen die negatief staan ten opzichte van plannen om het huidige treinverkeer in Nederland op sommige plekken uit te breiden meer slaapverstoring door trillingen van deze treinen dan mensen die hier neutraal of positief tegenover staan. Deze laatstgenoemde associatie was echter niet statistisch significant. Mensen die de trillingen door de treinen (zeer) onacceptabel vinden, ervaren meer slaapverstoring door trillingen van goederentreinen. En personen die ramen, deuren of het serviesgoed horen, voelen of zien trillen ervaren alleen significant meer slaapverstoring door de trillingen van goederentreinen.
In Tabel 4.3 is woningtype niet opgenomen. De rol van deze factor is wel onderzocht, maar het is gebleken dat deze geen invloed heeft op de ervaren slaapverstoring door trillingen van treinverkeer.

Ook in relatie tot de afstand tot het spoor (in meters) en de trillingssterkte uitgedrukt in RMS (in mm/s^2) is een logistische regressieanalyse uitgevoerd. In Tabel 4.4 zijn de gecorrigeerde ORs voor deze twee blootstellingsindicatoren en de V_{max} te zien. Uit de tabel blijkt dat, net als bij de V_{max}, na correctie voor een aantal potentieel verstorende factoren, alleen de relatie tussen de trillingssterkte door goederentreinen uitgedrukt in RMS en ernstige slaapverstoring door trillingen van goederentreinen statistisch significant is. Als de trillingssterkte

door goederentreinen met 0,1 mm/s^2 toeneemt, neemt de kans op ernstige slaapverstoring door trillingen van goederentreinen naar schatting gemiddeld toe met 12%.

*Tabel 4.4 De associatie tussen de blootstelling aan trillingen door treinverkeer en ernstige slaapverstoring door trillingen van treinverkeer na correctie voor potentieel verstorende factoren.**

	Ernstige slaapverstoring door trillingen reizigerstreinen	**Ernstige slaapverstoring door trillingen goederentreinen**
Blootstellingsindicator	OR_{adj} (95% Bthi)	OR_{adj} (95% Bthi)
Afstand tot het spoor†	1,051 (0,951 – 1,161)	0,961 (0,895 – 1,041)
RMS (mm/s^2)‡ door Reizigerstreinen Goederentreinen	1,048 (0,989 – 1,100)	1,121 (1,032 – 1,218)**
V_{max} (mm/s)†† door Reizigerstreinen Goederentreinen	1,032 (0,991 – 1,075)	1,039 (1,015 – 1,063)**

* Er is gecorrigeerd voor de variabelen uit Tabel 4.1: † OR voor de toename in afstand van het spoor van 10 meter; ‡ OR voor de toename van de blootstelling in trillingssterkte van 0,1 mm/s^2; †† OR voor de toename van de blootstelling in maximale trillingssterkte van 0,1 mm/s. Afkortingen: OR_{adj} = voor potentieel verstorende factoren gecorrigeerde Odds Ratio, 95% Bthi: 95% betrouwbaarheidsinterval, ** = statistisch significant.

4.5 Gezondheid: zelfgerapporteerde gezondheid en medicijngebruik

Algemene gezondheid, ook wel ervaren gezondheid of gezondheidsbeleving genoemd, is een oordeel over de eigen gezondheid. Het is een samenvattende maat van allerlei gezondheidsaspecten die relevant zijn voor een persoon. Deze gezondheidsaspecten variëren per persoon, maar hebben vaak betrekking op zowel de lichamelijke als de geestelijke gezondheid. Bijvoorbeeld ziekten, lichamelijke beperkingen, fitheid, vermoeidheid en depressieve gevoelens. Ook leefstijlfactoren zoals roken en voeding kunnen mede het oordeel over de eigen gezondheid bepalen [47].
De relatie tussen blootstelling aan trillingen door treinverkeer en een (zeer) slecht ervaren gezondheid, als indicator van kwaliteit van leven, is tot nog toe nog niet onderzocht. Bij onderzoek in de jaren tachtig rond militaire vliegvelden en snelwegen werd geen direct verband gevonden tussen blootstelling aan geluid van weg- en vliegverkeer en ervaren lichamelijke gezondheid. Wel werd een indirect verband waargenomen via hinder en met name stressreacties ten gevolge van blootstelling aan geluid [48].
Ervaren gezondheid werd gemeten aan de hand van een vraag van de RAND-36 [49] met betrekking tot de algemene gezondheidsbeleving. De RAND-36 is geschikt als generiek meetinstrument om een algemeen beeld van de gezondheidstoestand te verkrijgen. De betrouwbaarheid van de afzonderlijke modules van de RAND-36 wordt als goed beoordeeld [50]. De scores op een RAND-schaal lopen van 0–100; waarbij een hoge score duidt op een betere gezondheidstoestand [51].

4.5.1 Ervaren gezondheid: hoe vaak komt het voor?

In 2012 ervoer ruim 76% van alle Nederlanders van 19 jaar en ouder zijn of haar gezondheid als (zeer) goed [36]. In het onderzoeksgebied ligt dat percentage zelfs iets hoger: in totaal ervaart 80,8% (95% Bthi: 77,8 – 83,8) van de personen van 16 jaar en ouder die tot op 300 meter van een spoorlijn

wonen als (zeer) goed. Slechts 3,5% (95% Bthi: 2,1 – 4,9%) van het onderzoeksgebied ervaart zijn of haar gezondheid als (zeer) slecht.

4.5.2 *Medicijngebruik: hoe vaak komt het voor?*

Aanvullend op de algemene gezondheidsvraag werd geïnformeerd naar het medicijngebruik (al dan niet op recept) in de afgelopen twee weken. Het betreft vragen over medicatiegebruik voor (i) hart, bloedvaten of hoge bloeddruk, (ii) slaap- en kalmeringsmiddelen, (iii) antidepressiva, (iv) reuma en gewrichtspijn, en tot slot (v) medicatie tegen astma en CARA. In Tabel 4.5 worden de Nederlandse cijfers [52, 53] per medicatiegroep vergeleken met de geschatte percentages voor de totale populatie langs het spoor op basis van de survey.

Tabel 4.5 Het voorkomen (%) van zelfgerapporteerd medicijngebruik onder de bevolking van 16 jaar en ouder dat op 300 meter van het spoor woont.

Zelfgerapporteerd medicijngebruik	Wonen langs het spoor	Nederland
Hart, bloedvaten of hoge bloeddruk	27,1 (95% Bthi 23,6 – 30,6)	21,7%*
Slaap- en kalmeringsmiddelen	6,9 (95% Bthi 4,8 – 8,9)	2,4 %*
Antidepressiva	3,8 (95% Bthi 2,4 – 5,2)	6,0 %*
Reuma en gewrichtspijn	5,6 (95% Bthi 3,9 – 7,4)	7,9%*
Astma en CARA	8,0 (98% Bthi 5,8 – 10,2)	9,5 %*

* Bron: [52, 53]

Het gebruik van medicijnen voor hart, bloedvaten of hoge bloeddruk lijkt iets hoger te liggen dan het gebruik onder de Nederlandse bevolking. In totaal rapporteert ruim 27% van de personen van 16 jaar en ouder die tot op 300 meter van een spoorlijn wonen dat ze de afgelopen twee weken medicijnen hebben gebruikt voor het hart, bloedvaten of hoge bloeddruk. Een rechtstreekse vergelijking is moeilijk, omdat cijfers ontbreken. Wel is bekend dat in 2012 aan 21,7% van alle personen met een ziektekostenverzekering, geneesmiddelen voor het hartvaatstelsel werden verstrekt. De leeftijds- en geslachtsopbouw van de onderzoekspopulatie vergeleken met Nederland als geheel zou deze verschillen heel goed kunnen verklaren.

Ook het gebruik van slaap- en kalmeringsmiddelen lijkt hoger te liggen: in het onderzoeksgebied gebruikt bijna 7% slaap- en kalmeringsmiddelen, terwijl in Nederland in 2012 aan 2,4% van alle verzekerden slaap- en kalmeringsmiddelen werden voorgeschreven.

4.5.3 *Ervaren gezondheid: de relatie met de blootstelling aan trillingen door treinverkeer*

Op basis van de survey-data kon geen relatie afgeleid worden tussen de trillingsmaten en het aandeel van de bevolking dat een (zeer) slechte ervaren gezondheid rapporteert.

4.5.4 *Medicijngebruik: de relatie met de blootstelling aan trillingen door treinverkeer*

Op basis van de survey-data kon alleen een relatie worden afgeleid tussen de blootstelling aan treinverkeer uitgedrukt aan de hand van de RMS en het gebruik van medicijnen voor het hart, de bloedvaten en de bloeddruk (al dan niet op recept). Opmerkelijk genoeg bleek dat naarmate de blootstelling aan trillingen door treinverkeer toeneemt, de kans op medicijngebruik afneemt.

4.5.5 *Relatie van ervaren gezondheid met andere factoren*

In Tabel 4.6 is het resultaat van de logistische regressieanalyse weergegeven voor de relatie tussen de maximale trillingssterkte door treinverkeer en matig

tot (zeer) slecht ervaren gezondheid. Voor deze uitkomstmaat is gekozen omdat er te weinig mensen waren die een (zeer) slecht ervaren gezondheid rapporteerden.

Tabel 4.6 De relatie tussen de blootstelling aan trillingen door treinverkeer en matig tot (zeer) slecht ervaren gezondheid.

Variabele	**OR (95% Bthi)**
Blootstelling trillingen V_{max} (mm/s) Treinverkeer††	0,914 (0,706 – 1,183)
Aandeel goederentreinen (%)*	1,016 (1,001 010 – 1,031)**
Ratio dag/nacht (%)†	1,076 (1,026 – 1,128)**
Grondsoort Leem Veen Zand Zavel Klei	0,452 (0,079 – 2,600) 1,386 (0,604 – 3,180) 0,638 (0,290 – 1,403) 0,196 (0,048 – 0,794)** NB zeer klein *Ref*
Stedelijkheid‡ Zeer sterk stedelijk Sterk stedelijk Matig stedelijk Weinig stedelijk Niet stedelijk	1,318 (0,584 – 2,975) 0,957 (0,488 – 1,875) 0,681 (0,302 – 1,531) 1,222 (0,583 – 2,558) *Ref*
Geluidniveau door treinverkeer (L_{den}) in dB(A)	0,997 (0,967 – 1,028)
Vrouw	0,979 (0,625 – 1,534)
Leeftijd 16 – 44 jr 45 – 64 jr 65 jr en ouder	*Ref* 0,974 (0,573 – 1,654) 1,697 (0,943 – 3,056)
Opleiding Lager onderwijs MAVO/LBO HAVO/VWO/MBO HBO/WO	11,205 (3,419 – 36,727)** 3,033 (1,761 – 5,223)** *Ref* 0,541 (0,315 – 0,929)**
Hoort, voelt, ziet ramen, deuren en/of serviesgoed rammelen, trillen	1,617 (0,998 – 2,619)
Bezorgdheid over schade aan woning door trillingen	0,379 (0,206 – 0,695)**
Negatieve attitude tov huidig beleid tav treinverkeer langs het spoor	2,188 (1,119 – 4,276)**
Negatieve attitude tov plannen om het huidige treinverkeer in Nederland op sommige plekken uit te breiden	1,064 (0,591 – 1,914)
Trillingen door treinen zijn (zeer) onacceptabel	1,930 (1,075 – 3,465)**
Verwacht een achteruitgang door trillingen van de treinen	1,434 (0,827 – 2,484)

* Berekend door het aantal bakken goederentreinen per etmaal te delen door het totaal aantal bakken per etmaal. De OR is een OR voor de toename van het aandeel goederentreinen van 10%; † Verhouding tussen aantal treinen in de dag- en avondperiode en de nachtperiode; ‡ Stedelijkheid is een maatstaf voor de concentratie van menselijke activiteiten gebaseerd op gemiddelde omgeving adressendichtheid (oad) uitgedrukt in het aantal adressen per km^2. Er wordt onderscheid gemaakt tussen niet stedelijk (gemiddelde oad van minder dan 500 adressen per km^2), weinig stedelijk (gemiddelde oad van 500 tot 1000 adressen per km^2),

matig stedelijk (gemiddelde oad van 1000 tot 1500 adressen per km^2), sterk stedelijk (gemiddelde oad van 1500 tot 2500 adressen per km^2) en zeer sterk stedelijk (gemiddelde oad van meer dan 2500 adressen per km^2). †† OR voor de toename van de blootstelling in maximale trillingssterkte van 0,1 mm/s. Afkortingen: OR = Odds Ratio, 95% Bthi = 95% betrouwbaarheidsinterval, ** = statistisch significant.

Ook na correctie voor potentieel verstorende factoren, wordt er geen associatie gevonden tussen de maximale trillingssterkte door treinverkeer en ervaren gezondheid. Wel blijken de verhouding tussen het aantal treinen dat overdag en in de nacht over het spoor rijdt, en het aandeel goederentreinen, van belang te zijn. Als er overdag 5% meer treinen gaan rijden, neemt de kans op matig tot (zeer) slecht ervaren gezondheid naar schatting toe met gemiddeld 44%. Wanneer het aandeel goederentreinen met 10% toeneemt, neemt de kans op een matig tot (zeer) slecht ervaren gezondheid toe met gemiddeld ongeveer 17%.
Net als bij hinder en slaapverstoring, is ook de grondsoort waarop de woning is gebouwd van belang: personen die wonen in een gebied met zavelgrond hebben een significant kleinere kans op een matig tot (zeer) slecht ervaren gezondheid dan mensen die in een gebied met kleigrond wonen.
De mate van stedelijkheid van het gebied waarin de woning ligt en het geluidniveau dat door de treinen wordt veroorzaakt, lijken niet van invloed te zijn op de ervaren gezondheid.
Zoals verwacht is het opleidingsniveau sterk van invloed op de ervaren gezondheid: mensen met een lagere opleiding (LO en MAVO/LBO) rapporteren vaker een matig tot (zeer) slecht ervaren gezondheid dan mensen met een middelbare opleiding (HAVO, VWO, MBO); mensen men een hoge opleiding rapporteren het minst vaak een matig tot (zeer) slecht ervaren gezondheid.

Sociale en persoonlijke factoren blijken wederom sterk van invloed te zijn. Mensen die negatief staan ten opzichte van het huidige beleid ten aanzien van treinverkeer langs het spoor hebben een slechter ervaren gezondheid, dan mensen die hier neutraal of positief tegenover staan. Mensen die de trillingen (zeer) onacceptabel vinden rapporteren ook vaker een matig tot (zeer) slecht ervaren gezondheid. Opmerkelijk genoeg hangt bezorgdheid over schade aan de woning door trillingen juist samen met een als goed ervaren gezondheid: personen die aangeven dat ze bezorgd zijn over schade aan de woning door de trillingen, rapporteren minder vaak een matig tot (zeer) slecht ervaren gezondheid dan mensen die zich niet bezorgd maken over schade aan de woning. Dit is mogelijk een SES-effect: hoger opgeleid, hoger inkomen, meer bezorgdheid. In het kader van deze rapportage ontbreekt het aan tijd om alle interacties en mogelijke andere verbanden te onderzoeken.

*Tabel 4.7 De associatie tussen de blootstelling aan trillingen door treinverkeer en matig tot (zeer) slecht ervaren gezondheid, na correctie voor potentieel verstorende factoren.**

	Matig tot (zeer) slecht ervaren gezondheid
Blootstellingsindicator	OR_{adj} (95% Bthi)
Afstand tot het spoor (m)†	0,971 (0,932 – 1,000)
RMS (mm/s^2) door treinverkeer‡	0,991 (0,952 – 1,032)
V_{max} (mm/s) door treinverkeer††	0,914 (0,966 – 1,017)

* Er is gecorrigeerd voor het aandeel goederentreinen, de ratio dag/nacht, grondsoort, stedelijkheid, geluidniveau door treinverkeer, geslacht, leeftijd, opleiding, waarneming van de trillingen, bezorgdheid over schade aan de woning, houding t.o.v. huidig beleid en uitbreiding van het treinverkeer, acceptatie van de trillingen en de verwachtingen over te toekomst m.b.t. de trillingen; † OR voor de toename in afstand van het spoor van 10 meter; ‡ OR voor de toename van de blootstelling in trillingssterkte van 0,1 mm/s^2; †† OR voor de toename van de blootstelling in maximale trillingssterkte van 0,1 mm/s. Afkortingen: OR_{adj} = voor potentieel verstorende factoren gecorrigeerde Odds Ratio, 95% Bthi: 95% betrouwbaarheidsinterval, ** = statistisch significant.

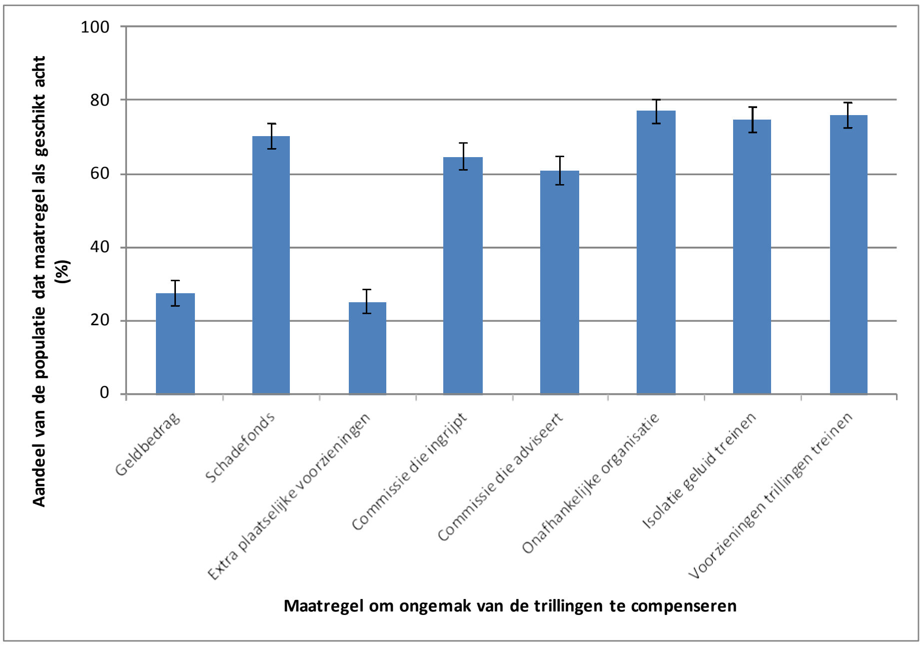
Ook in relatie tot de afstand tot het spoor (in meters) en de trillingssterkte uitgedrukt in RMS (in mm/s^2) is een logistische regressieanalyse uitgevoerd. Echter, voor geen van deze blootstellingsindicatoren is na correctie met verstorende factoren een associatie met ervaren gezondheid gevonden. Omdat het aantal gevallen van zelfgerapporteerd medicijngebruik relatief laag was, was het niet valide om een logistische regressieanalyse uit te voeren voor deze uitkomstmaten.

4.6 Compensatie

Compensatie is volgens de Van Dale “het goedmaken, aanvullen of vervangen van iets dat tekortschiet of uitgevallen is”. Het kan plaatsvinden in materiële zin maar ook in immateriële zin. In materiële zin betreft het compensatie in goederen. Denk bijvoorbeeld aan het treffen van extra voorzieningen aan de woning. Een andere vorm van compensatie is financiële compensatie: tegenover de nadelen van een activiteit wordt een geldbedrag gesteld. Het komt ook voor dat de overlast van de ene milieufactor wordt gecompenseerd door verlaging van blootstelling aan een andere milieufactor.
Uit onderzoek rondom de vliegbasis Geilenkirchen [54] weten we dat meer dan de helft van de bevolking rondom de luchthaven open stond voor een vorm van compensatie om de nadelen van de luchthaven te compenseren. Bijna driekwart van de bevolking vond geluidsisolatie de meest geschikte vorm.

4.6.1 Vormen van compensatie: hoe vaak worden ze genoemd?

In de vragenlijst is een aantal vragen opgenomen over compensatie-maatregelen: zo is er gevraagd welke maatregelen zouden kunnen dienen als tegemoetkoming om het ongemak van de trillingen acceptabel te maken.



Figuur 4.15 Maatregelen die als tegemoetkoming worden gezien om het ongemak van trillingen door treinen acceptabel te maken.

Zo'n 28% van de mensen in het onderzoeksgebied ziet het beschikbaar stellen van een geldbedrag aan de mensen in de buurt van het spoor als een geschikte compensatiemaatregel. Ook ziet 26% van de mensen uit het onderzoeksgebied het aanleggen van extra plaatselijke voorzieningen als een geschikte compensatiemaatregel. De meeste mensen zien meer in het instellen van een onafhankelijke commissie die regelmatig de situatie op het gebied van milieu peilt en de resultaten daarvan openbaar maakt. Bijna 77% ziet dit als een geschikte compensatiemaatregel. Andere maatregelen die mensen geschikt vinden als tegemoetkoming tegen het ongemak van de trillingen zijn (i) isolatievoorzieningen aan de woning tegen het geluid van de treinen (75%), (ii) voorzieningen aan de woning tegen trillingen van treinen (76%), en (iii) een fonds voor mensen die in de buurt van het spoor wonen, waaruit eventuele schade ten gevolge van treinverkeer kan worden betaald (70%).

4.6.2 Relatie met blootstelling aan trillingen

Voor een aantal compensatiemaatregelen is een statistisch significante samenhang gevonden met de blootstelling aan de trillingen door treinverkeer. Zo blijkt dat naarmate de blootstelling aan trillingssterktes toeneemt, maatregelen als een geldbedrag voor mensen die in de buurt van het spoor wonen, een commissie die de verantwoordelijke instanties adviseert over de gang van zaken rondom het spoor, isolatievoorzieningen aan de woning tegen het geluid van de treinen, en voorzieningen aan de woning tegen trillingen van treinen, vaker als een geschikte maatregel ter compensatie van het ongemak door trillingen worden gezien. Daarnaast bleek dat naarmate de blootstelling aan trillingssterktes toeneemt, een maatregel als extra plaatselijke voorzieningen, zoals een nieuw park of recreatiemogelijkheden, juist minder vaak als geschikt worden genoemd.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Hoofdconclusies

Uit de resultaten van de survey kunnen de volgende hoofdconclusies getrokken worden:

- In Nederland liggen in 2013 circa 845.000 woonadressen binnen 300 meter afstand van het spoor. Geschat wordt dat bij ongeveer 40% van deze adressen de maximale trillingssterkte (Vmax) hoger is dan de voelbaarheidsgrens van 0,1 mm/s (338.000). Bij zo'n 0,8% van het totaal aantal woonadressen (67.60) is de maximale trillingssterkte hoger dan de grenswaarde van 3,2 mm/s, niveaus die in de SBR worden aangeduid als ernstig hinderlijk.

- Op basis van de resultaten van het vragenlijstonderzoek wordt het aantal mensen van 16 jaar en ouder woonachtig binnen 300 meter van het spoor dat in 2013 ernstige hinder ondervindt van trillingen door treinen geschat op 20%.

- Het aandeel van de bevolking van 16 jaar en ouder wonend binnen 300 meter van het spoor dat ernstige hinder of slaapverstoring door de trillingen ervaart is relatief hoog in vergelijking met de gerapporteerde percentage gehinderden door trillingen van van andere bronnen (zie Figuur 4.5). Van de personen van 16 jaar en ouder wonend binnen 300 meter van het spoor, en ernstig gehinderd door trillingen van treinverkeer zijn naar schatting 6.000 personen (2%) blootgesteld aan niveaus van meer dan 3,2 mm/s (Vmax); naar schatting 22.000 personen (8%) van deze groep zijn blootgesteld aan niveaus van 1,6 tot 3,2 mm/s (Vmax); nog ongeveer 128.000 ernstig gehinderden (49%) zijn blootgesteld niveaus van 0,1 tot 1,6 mm/s, terwijl 107.000 ernstig gehinderden (41%) onder de voelbaarheidsgrens van 0,1 mm/s (Vmax) wonen. Voor het beleid betekent dit dat, teneinde ernstige trillingshinder en gezondheidseffecten te beperken, het niet voldoende is om aan de Bts-grenswaarde van 3,2 mm/s te voldoen. Ook en juist bij de middengroepen met trillingssterktes van 0,1tot 1,6 is veel gezondheidswinst te behalen.

- 20% van alle personen van 16 jaar en ouder die binnen 300 meter van het spoor wonen zijn ernstig gehinderd door trillingen van treinen. Bij 23% van alle omwonenden in deze leeftijdsgroep gaat het dan om ernstige hinder door goederentreinen en bij 16% om ernstige slaapverstoring door trillingen van goederentreinen; de omvang van ernstige hinder en slaapverstoring door trillingen van reizigerstreinen wordt geschat op gemiddeld 3-4%.

- De ondervonden ernstige trillingshinder en slaapverstoring worden dus vooral gerapporteerd in relatie tot goederentreinen. Er worden geen directe effecten van trillingen op ervaren gezondheid en medicijngebruik gevonden. Uit geluidonderzoek weten we echter dat chronische ernstige hinder en slaapverstoring samenhangen met meer serieuze en lange termijn gezondheidseffecten zoals hart- en vaatziekten, een toename van medicijngebruik en (on)welbevinden. Voor trillingen is onbekend wat de lange termijn gezondheidseffecten zijn maar we verwachten dat de gezondheidseffecten vergelijkbaar zijn met die van geluid. Om dit te kunnen bevestigen is longitudinaal onderzoek nodig.

- Naast de blootstelling aan trillingen is ook een aantal andere factoren van invloed op de gerapporteerde ernstige hinder, slaapverstoring en subjectieve gezondheid. De belangrijkste zijn: angst voor schade aan de woning, verwachtingen over toekomstige niveaus en acceptatie van de trillingen. De gevonden verbanden tussen de blootstelling aan trillingen van de treinen en de gerapporteerde hinder en slaapverstoring kunnen niet verklaard worden door het geluid van treinverkeer, dat op zich ook hinder en slaapverstoring kan veroorzaken.

- Ernstige hinder en slaapverstoring hangen significant samen met de drie gebruikte indicatoren voor de blootstelling aan trillingen: afstand, RMS en V_{max}. Op basis van de analyses blijkt dat deze drie indicatoren op vergelijkbare wijze voldoen als voorspellers van hinder en slaapverstoring, maar de verklaarde variantie is voor alle drie de maten matig. Dit kan betekenen dat andere factoren van invloed zijn op de ondervonden hinder en/of dat de blootstelling aan trillingen door de gebruikte indicatoren niet voldoende in kaart wordt gebracht.

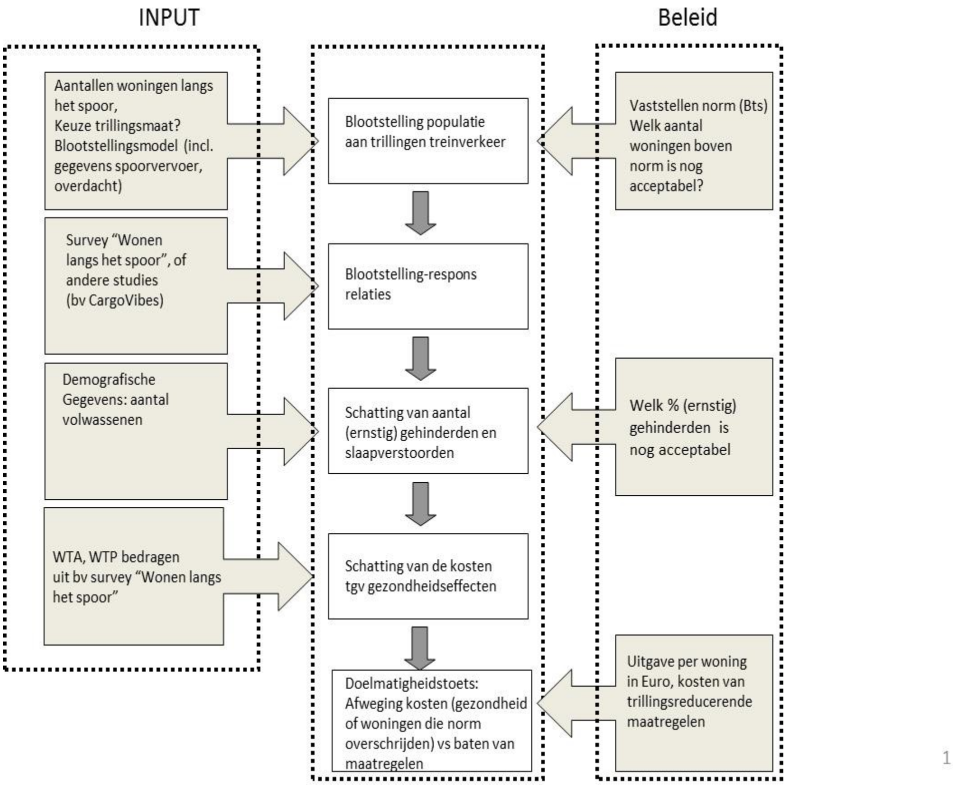
- Voor het voorspellen en/of beheersen van ernstige hinder door trillingen van treinen is het op grond van het voorgaande van belang V_{max}, RMS, en het type trein vast te stellen. Daarnaast moet naast de blootstelling rekening gehouden worden met contextuele en persoonlijke factoren die van invloed zijn op de hinder en slaapverstoring. Het gaat dan om houding ten aanzien van het beleid, houding en verwachtingen ten aanzien van ontwikkelingen langs het spoor en angst voor schade aan het huis. Dit geldt voor alle typen treinen. Voor goederenverkeer zijn daarnaast het (gebrek aan) acceptatie en het horen, voelen of zien rammelen van ramen, deuren en/of serviesgoed de belangrijkste factoren die de hinder en slaapverstoring mede verklaren.

- Ten aanzien van compensatie geeft 77% van de respondenten aan wel iets te zien in het instellen van een onafhankelijke commissie, (isolatie)voorzieningen aan de woning tegen het geluid en trillingen en/of een schadefonds. Slechts een kwart ziet het beschikbaar stellen van een geldbedrag of het aanbieden van andere plaatselijke voorzieningen als geschikte compensatiemaatregel.

5.2 Betekenis van de gevonden resultaten voor beleid

Zoals beschreven in hoofdstuk 1 kunnen de gevonden resultaten aanknopingspunten bieden voor een schatting van de ernst van het probleem van trillingen van treinen in vergelijking met andere transportgerelateerde problemen, zoals luchtverontreiniging en geluid, en/of om een schatting te maken van de kosten en baten van te treffen maatregelen gericht op hinderreductie. Deze schattingen kunnen alleen gemaakt worden op populatieniveau; de lokale toepassing of toepassing langs specifieke tracés is problematisch. Dit onderzoek had als belangrijkste doel om een landelijk beeld te geven van het probleem als een baseline meting, om vervolgens op locaties waar een specifieke situatie geldt (bijvoorbeeld toename of afname van het aantal goederentreinen) de effecten op hinder en gezondheid te monitoren.

Om tot een schatting te komen van de omvang van de kosten voor het treffen van maatregelen tegen de nadelige effecten van trillingen van treinverkeer, moet een aantal stappen worden doorlopen. In Figuur 5.1 wordt een overzicht van deze stappen gegeven.

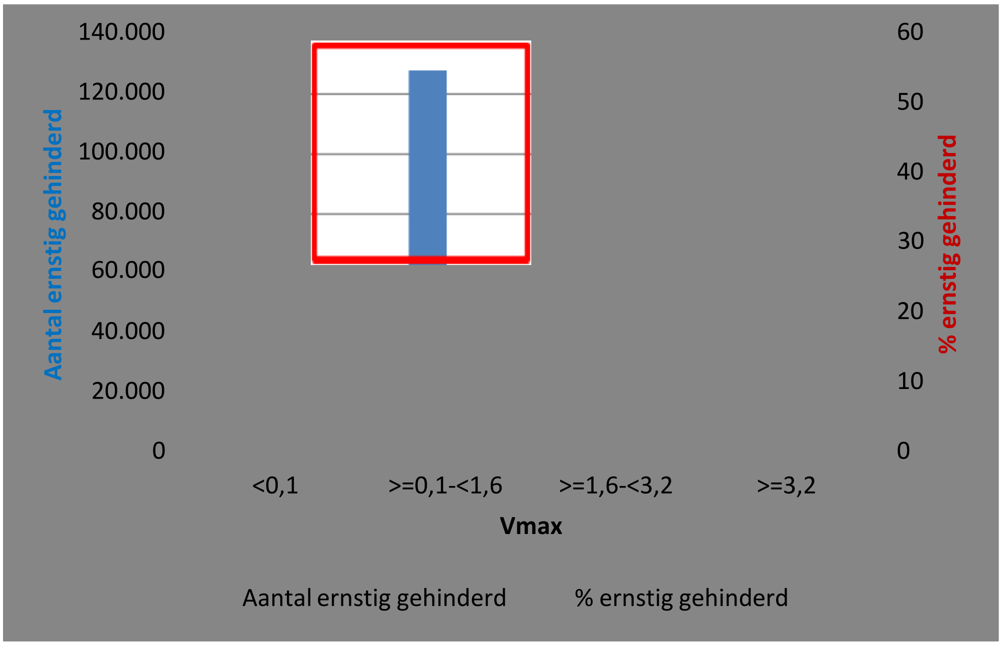


Figuur 5.1 Overzicht van de stappen in een doelmatigheidstoets – Voor

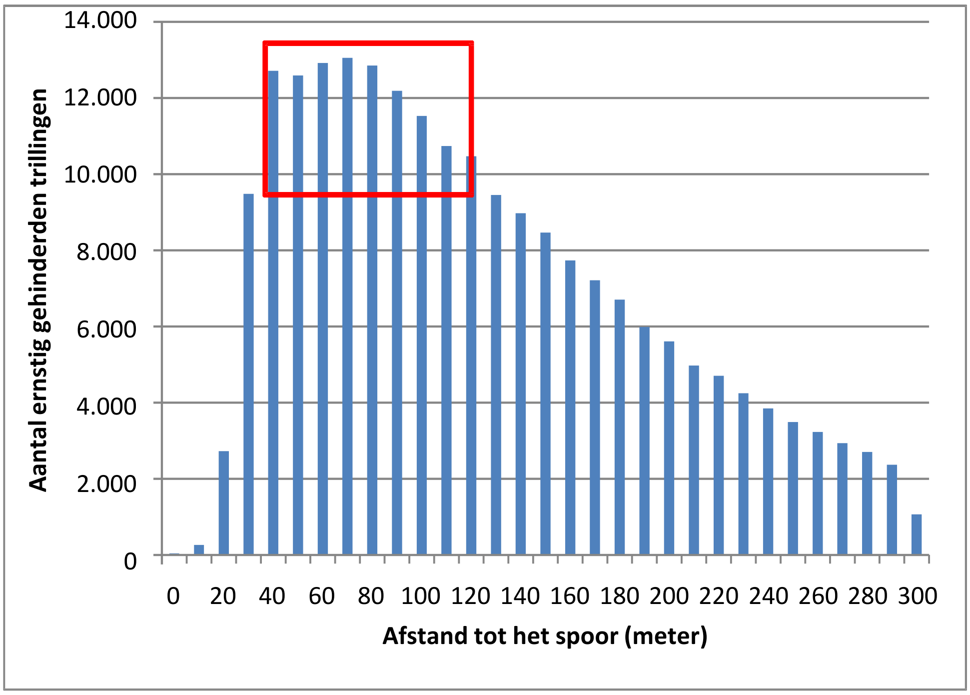
Als de omvang van gezondheidseffecten bekend is , kunnen ook de kosten in principe worden berekend, mits consensus bestaat over wat de kosten zijn van een persoon die ernstig is gehinderd door trillingen van treinen. Contingente methoden waarbij Willigness to pay (WTP) en Willingness to accept (WTA), zoals gebruikt werden dit onderzoek, zouden in principe als basis kunnen dienen voor een dergelijke schatting. In de survey is uitgebreid aandacht besteed aan de bedragen die mensen zelf bereid zijn te betalen (WTP) dan wel te ontvangen (WTA), maar deze bieden in dit stadium nog onvoldoende aanknopingspunten voor een verantwoorde aanpassing van het richtbedrag, als gevolg van het beperkt aantal respondenten dat de vragen heeft ingevuld.

5.3 Aan welke niveaus zijn mensen die hinder ondervinden blootgesteld en waar wonen zij?

Om ten behoeve van het beleid een beeld te geven van het aantal ernstig gehinderden per blootstellingsklassen werd het percentages ernstige hinder gekoppeld aan de categorieën trillingen voor V_{max} en afstand (zie Figuur 5.2a en 5.2b). Per *blootstellings*niveau (voor V_{max} en afstand) werd hierin aangegeven wat de omvang van het probleem is.



Figuur 5.2a Aantal ernstig gehinderden per blootstellingsklassen op basis van V_{max}.



Figuur 5.2b Aantal ernstig gehinderden per blootstellingsklassen op basis van afstand

Figuur 5.2a en b laten duidelijk zien dat de meeste ernstig gehinderden wonen binnen de 0,1-1,6 mm/s V_{max}-grens (dat zijn zo'n 128.000 mensen van 16 jaar en ouder) en op 40 tot 110 meter van het spoor (dat zijn zo'n 300.000 mensen van 16 jaar en ouder). Bij deze groepen valt in principe ook veel gezondheidswinst te behalen bij een reductie van de ernstige hinder (aangegeven in de rode box). Op kleine afstand van het spoor en binnen de hoge blootstellingscategorieën is de kans op ernstige hinder weliswaar groter,

maar het aantal mensen dat aan deze kans blootgesteld wordt is veel kleiner. Dit verschijnsel is een typisch ‘public health’ probleem. Daarnaast is het goed om te wijzen op het verschil tussen een afweging op basis van normen en een gezondheidskundige afweging. Bij een gezondheidskundige afweging ligt de nadruk op het beschermen van de gezondheid op populatieniveau; bij normstelling wordt in de praktijk getoetst of een situatie/individu voldoet aan de norm. Bovendien is het vaak zo dat normen vaak niet gebaseerd zijn op gezondheidskundige evidentie. In dit verband is het een belangrijke bevinding dat ook beneden de grenswaarde van 3,2 en vanaf zo’n 1,6 mm/s de kans op ernstige hinder (het aandeel) met 57% zeer hoog is.

Zoals we gezien hebben, hangen de percentages ernstige hinder vooral, maar niet uitsluitend (!), samen met goederenverkeer. Een exploratieve ruimtelijke analyse van de ernstige hinder (zonder correctie voor situationele en persoonlijke factoren) laat zien dat de ernstige hinder relatief het vaakst voorkomt langs tracés in het oosten van het land en in gebieden met lage mate van stedelijkheid. Dat kan overigens het gevolg zijn van steekproeftrekking en duidt niet per se op een werkelijk verschil. De uitkomsten van dit onderzoek lenen zich er niet voor dit nader te vertalen op lokaal of tracéniveau.

5.4 Aanknopingspunten beleid en verdere aanbevelingen

- Op basis van de bevindingen blijkt geen voorkeur voor één blootstellingsindicator of -indicatoren. De drie maten hangen vergelijkbaar samen met effecten, hangen onderling sterk samen en bieden theoretisch een vergelijkbare beschermingsgraad bij een *steady state* situatie. Afstand levert het hoogste percentage verklaarde variantie op, gevolgd door RMS en tot slot de V_{max}. Bij een sterke toename van treinfrequentie wordt verwacht dat V_{max} en RMS uit elkaar gaan lopen. Vervolgonderzoek is nodig om de effecten hiervan in kaart te brengen en te kwantificeren.
- Het aantal blootgestelde mensen van 16 jaar en ouder aan trillingssterktes boven de richtlijnwaarde van 3,2 mm/s wordt geschat op 11.000.
- Ook bij lagere trillingssterktes beneden deze grenswaarde is er sprake van negatieve effecten van trillingen door treinen. Het verdient aanbeveling om ook met deze groep rekening te houden. Naast interventies voor de meest belaste groep (> 3,2mm/s) valt gezondheidswinst vooral te behalen bij de groep met trillingsniveaus die weliswaar boven de voelbaarheidsgrens liggen maar onder de grenswaarde van 3,2mm/s. Dit komt grofweg overeen met een afstand van 40-300 meter van het spoor maar dit is weer sterk afhankelijk van factoren als vloertype, bodemsoort etc. (zie Tabel B8.1 in Bijlage 8).
- Het goederenverkeer geeft de meeste overlast; de meeste winst zou in de eerste plaats te behalen kunnen zijn met maatregelen met betrekking tot goederentreinen. Hierbij spelen mogelijk de lengte, tijdsduur en tijdstip (dag, avond of nacht) van de passages een belangrijke rol. Deze aspecten komen in de gehanteerde trillingsindicatoren mogelijk onvoldoende tot uiting.
- Behalve fysieke maatregelen liggen op grond van de resultaten ook interventies op gebied van communicatie voor de hand, waarbij wordt ingezet op houding ten aanzien van huidige uitbreiding van het aantal treinbewegingen, transparantie over toekomstplannen en het verschaffen van informatie over het risico op schade aan huis en mogelijke waardedaling van de woning ten gevolge hiervan [23].
- De in dit onderzoek door omwonenden aangegeven voorkeur voor vormen van compensatie bieden hiervoor belangrijke aanknopingspunten.

- Dit dwarsdoorsnede-onderzoek was een nulmeting en baseert zich op de blootstellingsniveaus van 2013. Door de geplande veranderingen langs het spoor wordt op sommige plaatsen een toename van het aantal treinen vooral ‘s nachts verwacht, terwijl op andere plaatsen een afname verwacht kan worden of de situatie gelijk zal blijven.
- Een monitorprogramma aan de hand van een panelstudie (zie ook de eerste bullet) geeft de mogelijkheid deze veranderingen in effecten te relateren aan veranderingen in blootstelling. Juist in een veranderingssituatie kan blijken dat een maximum trillingssterkte (V_{max}) niveau onvoldoende is om de effecten te verklaren en kan blijken dat een combinatie van maten met betrekking tot de maximum niveaus en het aantal events noodzakelijk is (V_{max} en RMS).

5.5 Beperkingen

De BE-relaties zijn afgeleid voor de blootstelling aan trillingen (RMS en V_{max}) en ernstige hinder en ernstige slaapverstoring. Gezien het feit dat de blootstelling is geschat met behulp van deels standaardwaarden en deels lokale kentallen, er mogelijk sprake is van een selectieve non-respons onder de deelnemers – vooral de gehinderden hebben meegedaan –, en het feit dat we te maken hebben met een veranderingssituatie – er gaan meer treinen rijden op sommige trajecten –, moet bij de interpretatie en toepassing van de gevonden BE-relaties het nodige voorbehoud betracht worden. Wel zouden de relaties gebruikt kunnen worden om de effectiviteit en doelmatigheid van maatregelen door te rekenen en de uitkomsten met elkaar te vergelijken. Het gaat dan om maatregelen die rechtstreeks op de blootstelling van invloed zijn en om maatregelen die een of meerdere parameters beïnvloeden die vervolgens weer de RMS of V_{max} beïnvloeden. Voorwaarde hiervoor is dat de maatregelencatalogus van ProRail beschikbaar is. Ook kunnen de relaties gebruikt worden als één of meerdere herhaalmetingen beschikbaar zijn om de effecten van veranderingen in aantallen treinen te vergelijken en groepen gebaseerd op ProRail-prognoses (vooruitgang, achteruitgang, blijft gelijk).

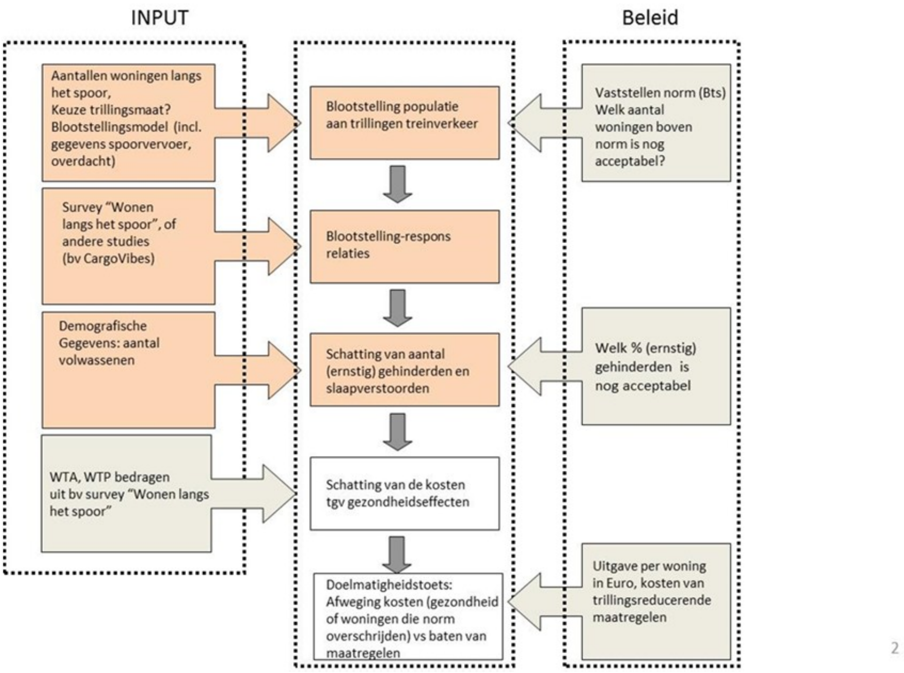
De BtS kan gebruikt worden om te toetsen of een woning aan de norm voldoet voor/na ingreep aan het spoor. De resultaten uit ons onderzoek zijn alleen bedoeld om op populatieniveau uitspraken te doen: op basis hiervan kunnen geen conclusies worden getrokken over individuele woningen of mensen.

5.6 Toepassing

In de RIVM review [1] worden de benodigde gegevens voor een zinvolle schatting als volgt omschreven:

1. keuze trillingsmaten;
2. gegevens spoorvervoer;
3. gegevens t.b.v. overdracht (rekenmodel, bodemgesteldheid etc.);
4. woningdichtheid langs spoor;
5. effecten (survey);
6. blootstelling (berekening met beperkte nauwkeurigheid);
7. relatie trillingsmaat/effecten;
8. prevalentie schatting in totale populatie 16 jaar en ouder op 300 meter van het spoor;
9. welke maatregelen zijn mogelijk en wat zijn de kosten daarvan;
10. baten van vermeden effecten;
11. inzet maatregelen bij verschillende normniveaus.

Punten **2 tot en met 8** zijn nu beschikbaar. De gegevens zoals beschreven bij punt **1, 9-11** zijn nog niet (volledig) beschikbaar. In Figuur 5.3 wordt de huidige stand van zaken schematisch weergegeven met in zalmkleur wat we nu weten en in grijs **wat** op grond van nadere analyse zou moeten worden uitgewerkt.



Figuur 5.3 Overzicht van de stappen in een doelmatigheidstoets – Na

Een eerste aanzet tot een gezondheidskundige evaluatie en de kosten van maatregelen daarvan zou in principe met de huidige informatie wel gedaan kunnen worden, maar zoals gezegd ontbreekt nog relevante informatie over te nemen maatregelen en de kosten daarvan. De gevonden blootstelling-effectrelaties kunnen worden toegepast om de effectiviteit en doelmatigheid van maatregelen door te rekenen en de uitkomsten met elkaar te vergelijken. Het gaat dan om maatregelen die rechtstreeks op de blootstelling van invloed zijn en om maatregelen die één of meerdere parameters beïnvloeden die vervolgens weer de RMS of V_{max} beïnvloeden.
Idealiter zou een gezondheidskundige en economische afweging vanuit een aantal perspectieven moeten worden uitgevoerd, bijvoorbeeld vanuit het perspectief van de burger en de Rijksoverheid/IenM, ProRail en/of de zorgverzekeraar [55]. Belangrijke voorwaarde voor een dergelijke schatting is, dat de berekeningen en de achterliggende assumpties door de verschillende stakeholders geaccepteerd worden.

6 Dankwoord

Wij danken alle deelnemers aan het onderzoek voor hun inzet. Wij danken alle leden van de klankbordgroep (met vertegenwoordigers van GGD'en, ProRail, provincies en gemeenten) voor hun commentaar op het onderzoeksontwerp, de vragenlijst en de aanpak. Dank aan Ingrid van Kuilenburg voor haar ondersteuning bij de website 'Wonen langs het spoor' en dank aan Veerle Boomer en Martijn Broekman voor hun bijdragen aan de invoer en verwerking van de onderzoeksdata. Anne France Zijsling en Marjolein 't Hoen willen we danken voor hun inzet bij de afronding van dit rapport en alles wat daarbij kwam kijken. En tot slot bedanken wij dr. Jose Ferreira voor zijn kritische blik op de statistische aanpak en op onze realiteitszin.

7 Referenties

1. Kempen EEMM van, Baumann RA, Wijnen HJ van, Kamp I van, *Gezondheidseffecten van trillingen door treinen. Een review* 2013, RIVM: Bilthoven.
2. Woodcock J, Peris E, Moorhouse A, Waddington D, *D1.5 Guidance document for the evaluation of railway vibration*. 2014, CargoVibes.
3. Janssen SA, Hofstetter H, Vos H, *Predicting vibration annoyance from distance to the railway*. 2013, TNO: Utrecht.
4. Janssen S, Koopman A, *Hinderspecificatie ten behoeve van de Beleidsregel Trillinghinder Spoor (Bts)*. 2014, TNO.
5. Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu, *Besluit tot vaststelling van beleidsregels ten aanzien van trillinghinder ten behoeve van de vaststelling van tracebesluiten voor de aanleg, wijziging of het opnieuw in gebruik nemen van een landelijke spoorweg (Beleidsregel trillingshinder spoor)*, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Editor. 2012: Staatscourant, 18 april 2012, nr. 7532.
6. Miedema HME, Jong RG de, *Het aandeel van goederentransport in het treinverkeer en effecten van geluid en trillingen op omwonenden.* 1993, NIPG/TNO: Leiden.
7. Janssen SA, Vos H, Koopman A, *Deliverable D1.2 - Exposure-response relationships and factors influencing these relationships.* 2013, CargoVibes.
8. Deutches Institut fur Normung, *Vibrations in buildings. Part 2: effects on persons in buildings*. 1999, Deutsches Institut fur Normung: Berlin.
9. Stichting Bouwresearch (SBR), *Trilling: meet- en beoordelingsrichtlijnen, deel B - Hinder voor personen in gebouwen*. 2002, SBR.
10. ISO, *Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration*, in *Part 1: General requirements*. 1997.
11. ISO, *Mechanical Vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration*, in *Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)*. 2003.
12. Miedema HME, Oudshoorn CGM, *Annoyance from transportation noise: relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals.* Environmental Health Perspectives, 2001. 109(4): p. 409-416.
13. Dusseldorp A, Houthuijs D, Overveld van A, Kamp I van, Marra M, *Handreiking geluidhinder wegverkeer. Berekenen en meten*. 2011, RIVM: Bilthoven.
14. Őhström E, Skanberg AB, *A field survey on effects of exposure to noise and vibration from railway traffic, Part 1: annoyance and activity disturbance effects.* Journal of Sound and Vibration, 1996. 193(1): p. 38-47.
15. Woodcock J, Peris E, Condie J, Sica G, Koziel K, Evans T, Moorhouse A, Steele A, Waddington D, *Human response to vibration in residential environments (NANR209). Technical report 6: determination of exposure-response relationships*. 2011, Defra: London.
16. Őhrström E, Gidlöf-Gunnarsson A, Őgren M, Jerson T, *Resultat och slutsatser från forskningsprogrammet TVANE. Effekter av buller och vibrationer från tåg- och vägtrafik – tågbonus, skillnader och samverkan mellan tåg- och vägtrafik. Slutrapport*. 2011, Göteborgs Universitet: Göteborg.

17. Őhström E, *Effects of exposure to railway noise: a comparison between areas with and without vibration.* Journal of Sound and Vibration, 1997. 205(4): p. 555-560.
18. Job RFS, *Community response to noise: a review of factors influencing the relationship between noise exposure and reactions.* Journal of the Acoustical Society of America, 1988. 83: p. 991-1001.
19. Peris E, Woodcock J, Sica G, Sharp C, Moorhouse A, Waddington D, *Attitudinal factors as determinants of railway vibration annoyance*, in *41th International Congress on Noise Control Engineering (Inter.noise 2012)*. 2012: New York.
20. Peris E, Woodcock J, Sica G, Sharp C, Moorhouse AT, Waddington DC, *Effect of situational, attitudinal and demographic factors on railway vibration annoyance in residential areas.* Journal of the Acoustical Society of America, 2014. 135(1): p. 194-204.
21. Condie J, Steele A, *Human response to vibration in residential environments (NANR209). technical report 5: analysis of social survey findings*. 2011, DEFRA: London.
22. Houthuijs DJM, Wiechen CMAG van, (redactie), *Monitoring van gezondheid en beleving rondom de luchthaven Schiphol*. 2006, RIVM: Bilthoven.
23. RIVM, RIGO, *Evaluatie Schipholbeleid: Schiphol beleefd door omwonenden*. 2005, Uitgave van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
24. Muzet A, *Environmental noise, sleep and health.* Sleep Medicine Reviews, 2007. 11(2): p. 135-142.
25. Stansfeld S, Haines M, Brown B, *Noise and health in the urban environment.* Reviews on Environmental Health, 2000. 15(1-2): p. 43-82.
26. Herz-Picciotto I, *Environmental epidemiology*, in *Modern Epidemiology*, G.S. Rothman K, Editor. 1998, Lippincott-Raven: Philadelphia.
27. Veerman JL, Barendregt JJ, Mackenbach JP, *Quantitative health impact assessment: current practice and future directions.* Journal of Epidemiology and Community Health, 2005. 59: p. 361-370.
28. Veerman JL, *Quantitative health impact assessment: an exploration of methods and validity*. 2007, Erasmus University: Rotterdam.
29. World Health Organization, *Evaluation and use of epidemiological evidence for environmental health risk assessment. Guideline document.* 2000, World Health Organization, Regional Office for Europe: Copenhagen.
30. Fast T, Hazel PJ van den, Weerdt DHJ van de, *Gezondheidseffectscreening Stad en Milieu. Handboek voor een gezonde inrichting van de woonomgeving*. Vol. Versie 1.3. 2006: Bureau Medische Milieukunde, Fast Advies.
31. Brink CL van den, Viet AL, Boshuizen HC, Ameijden EJC van, Droomers M, *Methodologie Lokale en Nationale Monitor Volksgezondheid. Gevolgen voor vergelijkbaarheid van gegevens.* 2005, RIVM: Bilthoven.
32. VROM, CBS, *WoON 2009. Vragenlijst module woningmarkt versie 1.1*. 2009, VROM: Den Haag.
33. BZK, CBS, *WoonOnderzoek Nederland (WoON) 2012. Vragenlijst module Woningmarkt CAPI/CATI, verise 3.4*. 2012, BZK, CBS: Den Haag.
34. Leidelmeijer K, Lensel J van, Giesbers I, *Kwaliteit van buurt en straat. Tussen feit en fictie.* 2009, Rigo Research en Advies in opdracht van VROM WWI: Den Haag.

35. Istamto T, Houthuijs D, Lebret E, *Multi-country willingness to pay study on road-traffic environmental health effects: are people willing and able to provide a number?* Environmental Health, 2014. 13(35).
36. Centraal Bureau voor de Statistiek. *CBS Statline*. 2014.
37. Steenbergen RDJM, Lentzen SSK, Koopman A, *Betrouwbare trillingsmaatregel ontwikkeling Standaard RekenMethode voor Trillingen (SRM-T)*. 2009, TNO: Delft.
38. Schreurs EM, Jabben J, Verheijen ENG, *STAMINA - Model description. Standard Model Instrumentation for Noise Assessments.* 2010, RIVM: Bilthoven, The Netherlands.
39. Gezondheidsraad, *Grote luchthavens en gezondheid*. 1999, Gezondheidsraad: Den Haag.
40. World Health Organization, *Guidelines for community noise.*, Berglund B, Lindvall T, Schwela D, Koh KT, Editors. 2000, World Health Organization: Geneva, Switzerland.
41. ISO, *Àcoustics - Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys* 2002, ISO.
42. Berglund B, Nilsson ME, *Total and source-specific loudness of singular and combined traffic sounds.* Archives of the Center for Sensory Research, 2001. 6(3): p. 71-93.
43. World Health Organization, *Night noise guidelines for Europe.* 2009, WHO Regional Office for Europe: Copenhagen.
44. Gezondheidsraad, *Over de invloed van geluid op de slaap en de gezondheid*. 2004, Gezondheidsraad: Den Haag.
45. Croy I, Smith MG, Persson-Waye K, *Effects of train noise and vibration on human heart rate during sleep: an experimental study.* BMJ Open, 2013. 3: p. e002655.
46. Smith MG, Croy I, Ogren M, Persson-Waye K, *On the influence of freight trains on humans: a laboratory investigation of the impact of nocturnal low frequency vibration and noise on sleep and heart rate.* PLoS One, 2013. 8(2): p. e55829.
47. Hoeymans N, Picavet HSJ, Tijhuis MAR. *Wat is ervaren gezondheid en hoe wordt het gemeten?* Volksgezondheid Toekomst Verkenning, Nationaal Kompas Volksgezondheid 2005; Available from: http://www.nationaalkompas.nl\Gezondheid en ziekte\Functioneren en kwaliteit van leven\ervaren gezondheid.
48. Kamp I van, *Coping with noise and its consequences*. 1990: STYX, Groningen.
49. Zee KI van der, Sanderman R, *Het meten van de algemene gezondheidstoestand met de RAND-36. Een handleiding.* 1993, Groningen: Noordelijk Centrum voor Gezondheidsvraagstukken.
50. Evers A, Vliet-Mulder JC van, Groot CJ, *Documentatie van tests en testresearch in Nederland. Deel 1 en 2.* 2000, Amsterdam/Assen: NIP/Van Gorcum.
51. Aaronson NK, Muller M, Cohen PDA, Essink-Bot M, Fekkes M, Sanderman R, Sprangers MAG, Velde A te, Verrips E, *Translation, validation, and norming of the Dutch Language Version of the SF-36 Health Survey in Community and Chronic Disease Populations.* Journal of Clinical Epidemiology, 1998. 51(11): p. 1055-1068.
52. Centraal Bureau voor de Statistiek, *Gezondheid en zorg in cijfers*. 2012, CBS: Den Haag.
53. Verweij G, Houben-van Herten M, *Bevolkingstrends 2013. Depressiviteit en antidepressiva in Nederland*. 2013, Centraal Bureau voor de Statistiek: Den Haag.

54. Poll R van (editor), Ameling C, Breugelmans O, Houthuijs D, Kempen E van, Marra M, Swart W, *Gezondheidsonderzoek vliegbasis Geilenkirchen (Desk Research) I. Hoofdrapportage: samenvatting, conclusies en aanbevelingen. Gezondheidsonderzoek Vliegbasis Geilenkirchen*. 2014, RIVM: Bilthoven.
55. Kunseler E, Renes G, *Gezondheid in maatschappelijke kosten-batenanalyses van omgevingsbeleid*. 2012, Planbureau voor de Leefomgeving: Den Haag.
56. Peeters AL, Jong RG de, Kaper JP, Tukker JC, *Hinder door spoorweggeluid in de woonomgeving*. 1984, IMG-TNO: Delft.
57. Poll HFPM van, Breugelmans ORP, Devilee JLA, *Hinder, bezorgdheid en woontevredenheid in Nederland. Inventarisatie verstoringen 2008*. 2011, RIVM: Bilthoven.
58. Veenstra P, Berg F van den, *Onderzoek naar klachten over laagfrequent geluid in Groningen*. 2002, Wetenschapswinkel Natuurkunde, Rijksuniversiteit Groningen: Groningen.
59. Jong RG de, Vos H, *Hinder door milieuverontreiniging in Nederland 1998. Verslag van deelstudies naar rangeerterreinen, militaire en kleine burgerluchtvaart.* 2000, TNO Preventie en Gezondheid: Leiden.
60. Kamp I van, *Geluidbelasting en gezondheid; psychosociale aspecten in de relatie geluid belasting en gezondheid. Keuze en meting van begrippen.* 1986, Interfacultaire Vakgroep Energie en Milieukunde: Groningen.
61. Kempen E van, Devilee J, Swart W, Kamp I van, *Characterizing urban areas with good sound quality: development of a research protocol.* Noise and Health, In press.
62. Breugelmans ORP, Wiechen CMAG van, Kamp I van, Heisterkamp SH, Houthuijs DJM, *Gezondheid en beleving van de omgevingskwaliteit in de regio Schiphol: 2002 - Tussenrapportage Monitoring Gezondheidskundige Evaluatie Schiphol*. 2004, RIVM: Bilthoven.
63. SAS Institute Inc, *SAS/STAT 13.1 User's guide. The SURVEYLOGISTIC procedure*. 2013, SAS Institute: Cary, NC.
64. Peris E, Woodcock J, Sica G, Moorhouse AT, Waddington DC, *Annoyance due to railway vibration at different times of the day.* Journal of the Acoustical Society of America, Express Letters, 2012. 131(2): p. 191-196.
65. Vree J de. *JoostdeVree.nl*. [cited 2014 10 oktober 2014].
66. Spoorhinder, S., *Toelichting treintrillingen*, S. Spoorhinder, Editor. 2013: Rheden.
67. Zeichart K, *Kombinatorische Wirkungen von Bahnlärm und Bahnerschütterungen.* Zeitschrift für Lärmbekämpfung, 1998. 45(1): p. 7-16.
68. Janssen S, Vos H, Koopman A, *A meta-analysis of surveys into vibration annoyance from railway*, in *Internoise 2013*. 2013: Innsbruck, Austria.

Bijlage 1 Verklarende woordenlijst en afkortingen

Bthi, 95%	Betrouwbaarheidsinterval. Geeft het gebied van waarden aan (interval), waarbinnen de werkelijke waarde in de onderzoeksbevolking ligt. 95% betekent dat wanneer we het onderzoek zouden herhalen 95 van de 100 herhalingen een resultaat geven dat binnen dat interval ligt. Betrouwbaarheid zegt iets over de nauwkeurigheid van de berekende waarden.
Bts	Beleidsregel Trillingshinder Spoor
dB(A)	Decibel, maat voor het geluidniveau. Het menselijk oor is niet even gevoelig voor geluiden bij verschillende frequenties. Om met deze frequentie-afhankelijkheid rekening te houden, gebruikt men bij het meten van geluid een filter met ongeveer dezelfde frequentie afhankelijkheid als het menselijk gehoororgaan. Dit is een geluidfilter met de zogenaamde A-karakteristiek. Als de geluiddrukniveaus zijn gemeten met gebruikmaking van het A-filter, noemt men de uitkomst het geluidniveau in dB(A).
HRVRE	Human Response to Vibration in Residential Environments
Hz	Hertz. Dit is een maat voor de frequentie van geluid en trillingen. Het aantal drukvariaties per seconde is de frequentie van een geluid. De frequentie bepaalt ook de toonhoogte.
IenM	Ministerie van Infrastructuur en Milieu
OR	Odds Ratio (OR): De Odds Ratio (OR) is een associatiemaat die een benadering geeft hoeveel waarschijnlijker (of onwaarschijnlijker) het is dat diegenen die blootstaan aan een bepaalde expositie (bijvoorbeeld trillingen door treinen of geluid) een ziekte of aandoening zullen krijgen dan diegenen die niet blootstaan aan de expositie dan wel aan lagere niveaus van de expositie blootstaan. Bijvoorbeeld als het gaat om de aan- of afwezigheid van longkanker in relatie tot het al dan niet roken, dan zal bij een OR van 2 de kans op het ontwikkelen van longkanker twee keer zo groot zijn bij de rokers dan bij de niet-rokers in de onderzoeksgroep. Ander voorbeeld: Stel het gaat om de aan- of afwezigheid van een hartziekte in relatie tot het al dan niet regelmatig verrichten van zware fysieke inspanning. Als de geschatte OR gelijk is aan 0,5 dan is de kans op het optreden van een hartziekte half zo groot bij diegenen die regelmatig een zware fysieke inspanning verrichten ten opzichte van diegenen die dat niet doen in de onderzoeksgroep. Een OR van 1 geeft aan dat er geen verschil is tussen de blootgestelde en niet-blootgestelde groep.
PHS	Programma Hoogfrequent Spoorvervoer

Prevalentie	Percentage, aantal keren dat iets per 100 respondenten vóórkomt op een gegeven moment.
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
RR	Relatief Risico. Het relatief risico is de verhouding tussen twee absolute risico's. Het absolute risico is de verhouding tussen het aantal keren dat iets voorvalt in een groep en het totale aantal van die groep. Het is een associatiemaat die aangeeft hoe sterk een determinant en een ziekte gebonden zijn.
RMS	Frequentiegewogen ‘root-mean-square’. Blootstellingsmaat (vaak een gemiddelde) voor trillingen over langere periodes of om de omvang van trillingsgebeurtenissen (events) uit te drukken. Deze blootstellingsmaat wordt vooral gebruikt bij continue trillingen.
RMS_{24hr}	RMS blootstellingsmaat over een beoordelingstijd van 24 uur.
SBR B richtlijn	‘Stichting Bouw Research’ B richtlijn. Deze richtlijn (geen wetgeving) geeft een eerste aanzet hoe om te gaan met trillingshinder, waarbij wordt aangestuurd op overleg met alle betrokken partijen om maatregelen te overwegen en te beoordelen of de hinder acceptabel is of niet.
SRS	Swedish Railway Survey
TVANE	Train Vibration and Noise Exposure
VCKB25L	Dit is de logaritme van de som van de frequentiegewogen trillingssnelheid in de woonkamer tijdens de dagperiode en de frequentiegewogen trillingssnelheid in de slaapkamer tijdens de nachtperiode.
VDV	Vibration Dose Value. Dit is een cumulatieve blootstellingsmaat voor trillingen over een specifieke beoordelingsperiode (in $m/s^{1,75}$). Deze blootstellingsmaat wordt vooral gebruikt als de trillingen onregelmatig voorkomen.
$VDV_{b,\ 23:00-7:00}$	VDV-waarde tijdens de nachtperiode.
$VDV_{b,24hr}$	VDV-waarde over een beoordelingstijd van 24 uur.
V_{max}	De hoogste effectieve trillingssterkte gedurende de beoordelingsperiode, waarbij 2% van de treinen met de hoogste trillingsniveaus niet zijn meegeteld aangezien ze als outliers worden gezien.

V.dmax	Vd,max: maximale trillingsniveau in snelheid (grotendeels volgens DIN 4150 en SBR-B, maar frequentieweging per richting volgens ISO 2631-1). Deze maat is zeer verwant aan de Vmax in de SBR-B, met als enige verschil de richtingsafhankelijke frequentieweging. Verticaal levert dit gemiddeld 15% hogere waarden op voor Vd,max.
Vper	De gemiddelde trillingssterkte gedurende de beoordelingsperiode, gewogen naar de duur van de blootstelling.
V_{w95}	Blootstellingsmaat (in mm/s) die in Noorwegen wordt gebruikt. Het geeft het 95-percentiel van de trillingsniveaus.

Bijlage 2 Powerberekening

In dit onderzoek is gebruikgemaakt van een steekproef uit de omwonenden van spoorlijnen in Nederland. Wanneer we uitgaan van een steekproef is er nooit 100% duidelijkheid of iets waar is of niet, het gaat om waarschijnlijkheden. Er is altijd een bepaalde mate van onzekerheid rond de schatting van een effect. Deze onzekerheid hangt onder andere af van de grootte van de steekproef. Als er in het onderzoek verschillen worden gevonden tussen groepen van de bevolking – bijvoorbeeld een verschil in ervaren hinder in huizen gebouwd op zandgrond ten opzichte van huizen gebouwd op veengrond – dan willen we weten of die verschillen echt bestaan of op toeval berusten. De kans op toeval wordt vaak uitgedrukt met een p-waarde: een kleine p-waarde (< 0,05) betekent dat er nog 5% kans is dat het verschil tussen twee behandelingen op toeval berust. We zeggen dan dat er een werkelijk, statistisch significant, verschil is.

Bij het uitvoeren van onderzoek zijn er twee bronnen van fouten die op kunnen treden:

- In het eerste geval is er in werkelijkheid geen verschil tussen twee groepen – maar de analyses wijzen uit dat er toch een significant verschil is. Dit wordt een fout van de eerste orde genoemd.
- In het tweede geval is er in werkelijkheid wel een verschil tussen de twee groepen – maar dit verschil wordt niet (significant) aangetoond in de analyses. Dit is een fout van de tweede orde.

Bij de opzet van een onderzoek is het van belang om na te gaan welke grootte van het verschil tussen groepen en/of effecten het onderzoek moet kunnen aantonen, én om de verhouding tussen de kans op een fout van de eerste en de kans op een fout van de tweede orde zo optimaal mogelijk te maken. Simpel gezegd komt het erop neer dat als het verwachte verschil tussen twee groepen klein is, en een eerste of tweede orde fout niet gewenst is, er heel veel proefpersonen nodig zijn. In realiteit is het aantal proefpersonen altijd een compromis van het beschikbare onderzoeksbudget en de drie genoemde factoren. In dit onderzoek is bij de opzet van het onderzoek uitgezocht hoe groot de steekproef moet zijn in elk van de gekozen *strata* om binnen het budget toch met voldoende zekerheid uitspraken te kunnen doen. Daarbij is rekening gehouden met de verwachte non-respons en het aantal proefpersonen dat nodig is per stratum. Het aantal proefpersonen is vastgesteld met een zogenoemde powerberekening.

In onderstaande tabel en figuur is een voorbeeld van een powerberekening weergegeven. De tabel en figuur tonen de power die bereikt kan worden bij verschillende aantallen respondenten wanneer we willen aantonen dat een proportie (bijvoorbeeld het percentage gehinderden) van 20% zich met 95% betrouwbaarheid tussen de 15% en 25% bevindt. In veel onderzoek is het gebruikelijk om naar een minimale power van 0,8 te streven. In dit geval zijn er dan tussen de 500 en 600 respondenten nodig om dit te bereiken.

proportie is 20%, CI=15 – 25

The POWER Procedure
Exact Test for Equivalence of Binomial Proportion

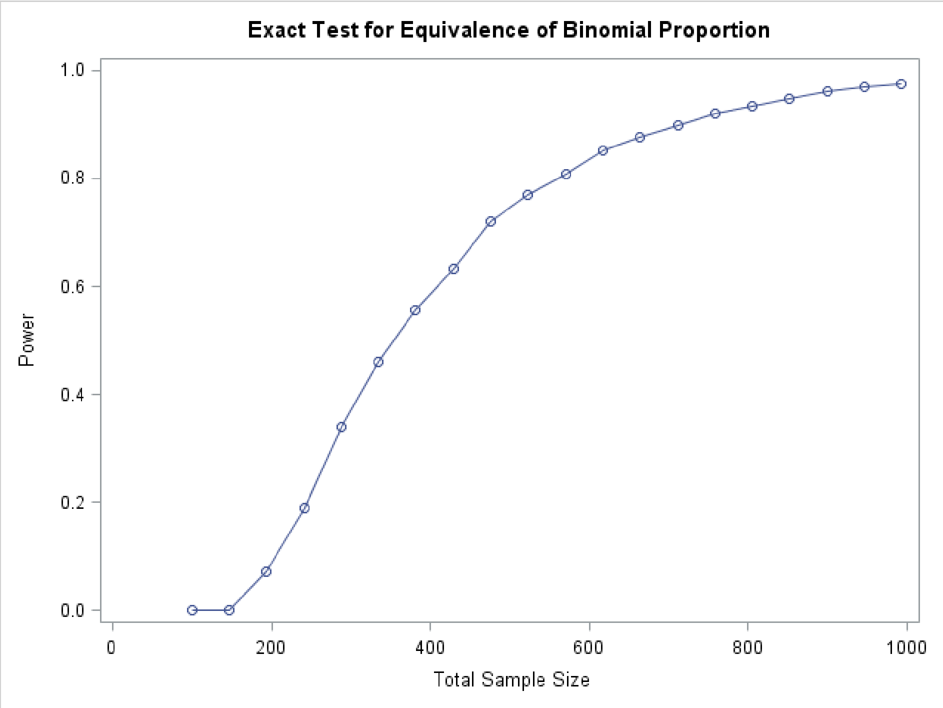
Fixed Scenario Elements	
Method	Exact
Lower Equivalence Bound	0.15
Upper Equivalence Bound	0.25
Binomial Proportion	0.2
Alpha	0.05

Computed Power

Index	N Total	Lower Crit Val	Upper Crit Val	Power
1	100	22	17	<.001
2	200	39	39	0.070
3	300	56	62	0.385
4	400	73	85	0.582
5	500	89	108	0.731
6	600	106	132	0.830
7	700	122	155	0.889
8	800	138	179	0.934
9	900	154	203	0.961
10	1000	170	227	0.977

proportie is 20%, CI=15 – 25

The POWER Procedure
Exact Test for Equivalence of Binomial Proportion



Bijlage 3 Vragenlijst

Wonen langs het spoor

Beste deelnemer,
Dank u voor het meedoen aan ons onderzoek over wonen langs het spoor en treinen. De enquête zal ongeveer … minuten in beslag nemen.

1.	Sinds wanneer woont u op dit adres?	------|------|------|-------| ------|------| ------|------|	Jaar Maand Dag

2a.	Uit hoeveel personen bestaat het huishouden waar toe u behoort, uzelf meegerekend?	------|--------| personen
2b.	Met welke personen woont u momenteel samen? *Er zijn meerdere antwoorden mogelijk*	❑ Ik woon alleen ❑ Ik woon niet samen met een partner, maar heb wel een duurzame relatie ❑ Met een partner/echtgenoot of echtgenote ❑ Met kind(eren) jonger dan 18 jaar ❑ Met kind(eren) van 18 jaar of ouder ❑ Met mijn ouder(s) ❑ Met enkele andere volwassene/andere volwassenen

Blok I. Uw woonomgeving

Hieronder volgt een aantal vragen over **uw woonomgeving**. Hiermee bedoelen we de buurt ofwel het gebied dat in de directe omgeving van uw woning ligt. De makkelijkste manier om dit voor te stellen is om een gebied te nemen dat binnen de 10-15 minuten lopen is van uw huis.

3.	Hoe tevreden bent u met uw woonomgeving? Druk dit uit in een rapportcijfer van 1 t/m10, 1 = zeer ontevreden, 10 = zeer tevreden.									
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑

4A. Wat zijn de ***prettige kanten*** aan het wonen hier? *Meerdere antwoorden mogelijk*	❑ Er zijn geen prettige kanten ❑ De rustige omgeving ❑ Je hebt hier de ruimte ❑ We hebben fijne buren ❑ Er zijn voldoende ❑ groenvoorzieningen ❑ Het is een mooie omgeving ❑ De centrale ligging ❑ De winkels zijn dichtbij ❑ De landelijke omgeving ❑ Het station is dichtbij ❑ De schone lucht Anders, namelijk …

4B.	Wat zijn de ***onprettige kanten*** aan het wonen hier? *Meerdere antwoorden mogelijk*	❑ Er zijn geen onprettige kanten ❑ Er is te weinig speelterreinen ❑ Onveiligheid op straat ❑ Er is onvoldoende openbaar vervoer ❑ Het spoor ❑ De buren ❑ De luchtvervuiling ❑ Je woont te dicht op elkaar ❑ Het lawaai ❑ Anders, namelijk …
5a.	Vindt u dat de buurt waarin u woont het **afgelopenjaar** vooruit of achteruit is gegaan?	❑ Vooruit ❑ Achteruit ❑ Is gelijk gebleven
5b.	Denkt u dat de buurt waarin u woont het **komendejaar** vooruit of achteruit zal gaan?	❑ Vooruit ❑ Achteruit ❑ Is gelijk gebleven

6.	Kunt u aangeven op welke aspecten u **hetkomendejaar** een vooruit- of achteruitgang verwacht?			
	Per regel één antwoord aankruisen	**VOORUITGANG**	**ACHTERUITGANG**	**VERWACHT GELIJKBLIJVEN DE SITUATIE**
A.	Groenvoorzieningen in de buurt	❑	❑	❑
B.	Veiligheid van de buurt als gevolg van criminaliteit	❑	❑	❑
C.	De bewoners	❑	❑	❑
D.	Geluid van buren	❑	❑	❑
E.	Trillingen van treinen	❑	❑	❑
F.	Geluid van treinen	❑	❑	❑
G.	Geluid van wegverkeer	❑	❑	❑
H.	Anders, namelijk	❑	❑	❑

Blok II. Trillingen in en rondom uw woning

We stellen in dit blok een aantal vragen **over trillingen** die u thuis (dus in uw huis, voor de deur, in uw tuin of op uw balkon) wel eens gevoeld, gezien of gehoord heeft. Het gaat om uw ervaring over de **afgelopen 12 maanden**.

7.	Als u denkt aan de afgelopen 12 maanden, welk getal van 0 tot 10 geeft het beste aan in welke mate trillingen van onderstaande bronnen **u hinderen, storen of ergeren** wanneer u thuis bent? Als een bron niet waarneembaar is bij u thuis, vul dan alleen de linker kolom (niet waarneembaar) in. ←→ Ik ben helemaal niet (0) gehinderd Ik ben extreem (10) gehinderd

Per regel één antwoord	**Niet waarneembaar**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Wegverkeer	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Treinverkeer	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Industrie of bedrijven	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Bouwactiviteiten, waaronder bouw-, sloop-, of wegwerkzaamheden	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Buren	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑

8	We gaan nu wat dieper in op trillingen door treinverkeer. Kunt u voor onderstaande bronnen aangeven of A deze in de afgelopen 12 maanden wel eens trillingen veroorzaakte, en B indien ja: hoe vaak dat dan was.									
		A. trillingen gevoeld, gezien of gehoord door deze bron?			B. Zo ja, **hoe vaak**?					
		NEE	**JA**		**Dagelijks**	**2-3 keer per week**	**1 keer per week**	**1 keer per maand**	**Tenminste 1 keer per jaar**	**Zelden of nooit**
A	Passagierstreinen	❑	❑	→	❑	❑	❑	❑	❑	❑
B	Goederentreinen	❑	❑	→	❑	❑	❑	❑	❑	❑
C	Spooronderhoud, of enige andere activiteit op het spoor (bv rangeren, treinen wassen)	❑	❑	→	❑	❑	❑	❑	❑	❑
		↓ ***Indien alles NEE, ga dan naar vraag 14***								

9.	**Hoe** neemt u de trillingen van het treinverkeer waar? *Meerdere antwoorden mogelijk*	❑ Ik hoor de trillingen ❑ Ik voel de trillingen ❑ Als druk op mijn oren ❑ Ik voel het in mijn buik ❑ Als trillingen in mijn hele lichaam ❑ Ik zie de trillingen ❑ Anders, namelijk….
10.	**Wat** gebeurt er als u trillingen voelt, hoort of ziet die volgens u zijn veroorzaakt door	

	treinverkeer,spooronderhoudofenigeandereactiviteitophetspoor?		
NvT	*Per regel één antwoord aankruisen*	**JA**	**NEE**
A.	Ik zie en/of hoor de ramen rammelen, trillen	❑	❑
B.	Ik zie en/of hoor de deuren rammelen, trillen	❑	❑
C.	Ik zie en/of hoor het serviesgoed (zoals borden of glazen in de kast) rammelen, trillen	❑	❑
D.	Ik zie en/of hoor zwaaiende lampen		
E.	Ik voel dat het vanuit de vloer komt	❑	❑
F.	Ik voel de trillingen als ik in huis sta	❑	❑
G.	Ik voel de trillingen als ik in huis zit (bv op een stoel)	❑	❑
H.	Ik voel de trillingen als ik in huis lig (bv op bed)	❑	❑
I.	Ik voel de trillingen als ik met mijn hand(en) de muur aanraak	❑	❑
J.	Ik voel de trillingen als ik mijn hand(en) ergens op leg (bv op het tafelblad)	❑ ❑	❑ ❑
K.	Er komen scheuren in de muren en/of het plafond	❑	❑
L.	Ik voel, hoor of zie andere dingen in huis, namelijk.....................	❑	❑

11.	**Inwelkemate** werden de volgende bezigheden in en rondom uw huis tijdens de afgelopen 12 maanden **verstoord** door trillen door **treinverkeer,spooronderhoudofenigeandereactiviteitop hetspoor**?					
	Per regel één antwoord aankruisen	**Helemaal niet**	**Een beetje**	**Nogal**	**Tamelijk veel**	**Heel erg**
A.	Middagrust/rusten	❑	❑	❑	❑	❑
B.	Gesprek en/of telefoongesprek voeren	❑	❑	❑	❑	❑
C.	Lezen of een andere rustige activiteit	❑	❑	❑	❑	❑
D.	Schrijven, tekenen, schilderen of elke andere activiteit waar een stabiele ondergrond voor nodig is	❑	❑	❑	❑	❑
E.	Denkwerk	❑	❑	❑	❑	❑
F.	Radio/muziek luisteren	❑	❑	❑	❑	❑
G.	TV kijken	❑	❑	❑	❑	❑
H.	Nietsdoen, ontspannen	❑	❑	❑	❑	❑
I.	Slapen	❑	❑	❑	❑	❑

12.	Als u denkt aan de afgelopen 12 maanden, welk getal van 0 tot 10 geeft het beste aan in welke mate trillingen van onderstaande bronnen u **hinderen, storen of ergeren** wanneer u thuis bent? Als een bron niet waarneembaar is bij u thuis, vul dan alleen de linker kolom (niet waarneembaar) in ←——————————→ Ik ben helemaal niet (0) gehinderd　　　Ik ben extreem (10) gehinderd

Per regel één antwoord	**Niet waarneembaar**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Passagierstreinen	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Goederentreinen	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Spooronderhoud, of enige andere activiteit op het spoor (bv rangeren, treinen wassen)	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑

13.	Als u denkt aan de afgelopen 12 maanden, welk getal van 0 tot 10 geeft het beste aan in welke mate trillingen van onderstaande bronnen **uw slaap verstoren** wanneer u thuis bent? Als een bron niet waarneembaar is bij u thuis, vul dan alleen de linker kolom (niet waarneembaar) in. Ik ben helemaal niet (0) slaapverstoord ⟷ Ik ben extreem (10) slaapverstoord

Per regel één antwoord	**Niet waarneembaar**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Passagierstreinen	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Goederentreinen	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Spooronderhoud, of enige andere activiteit op het spoor (bv rangeren, treinen wassen)	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑

Blok III. De geluidsituatie in en rondom uw woning

De volgende vragen gaan over de geluidsituatie in en rondom uw woning. We willen graag weten welke geluiden u thuis hoort, en hoe u dat ervaart. Het gaat om uw ervaring over de afgelopen 12 maanden.

14.	Hoe waardeert u de geluidsituatie **in en rondom uw woning**?	❑ Zeer goed ❑ Goed ❑ Niet slecht en niet goed ❑ Slecht ❑ Zeer slecht

15.	Denk bij deze vraag aan de afgelopen 12 maanden. Welk getal van 0 tot 10 geeft het beste aan in welke mate **geluid** van de onderstaande bronnen u **hindert, stoort of ergert** wanneer u thuis bent? Als een bron niet waarneembaar is bij u thuis, vul dan alleen de linker kolom (niet hoorbaar) in. Ik ben helemaal niet (0) gehinderd ⟷ Ik ben extreem (10) gehinderd

Per regel één antwoord	**Niet hoorbaar**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Wegverkeer	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Treinverkeer	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Bouwactiviteiten, waaronder bouw-, sloop-, of wegwerkzaamheden	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Buren	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑

16.	Denk bij deze vraag aan de afgelopen 12 maanden. Welk getal van 0 tot 10 geeft het beste aan in welke mate <u>geluid</u> van de onderstaande bronnen uw slaap verstoort wanneer u thuis bent? Als een bron niet waarneembaar is bij u thuis, vul dan alleen de linker kolom (niet hoorbaar) in.
	← → Ik ben helemaal niet (0) slaapverstoord ... Ik ben extreem (10) slaapverstoord

Per regel één antwoord	**Niet hoorbaar**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Wegverkeer	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Treinverkeer	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Bouwactiviteiten, waaronder bouw-, sloop-, of wegwerkzaamheden	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Buren	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑

We gaan nu wat dieper in op het geluid van de verschillende bronnen van railverkeer.

17.	Denk bij deze vraag aan de afgelopen 12 maanden. Welk getal van 0 tot 10 geeft het beste aan in welke mate <u>**geluid**</u> van de onderstaande bronnen u **hindert, stoort of ergert** wanneer u thuis bent? Als een bron niet waarneembaar is bij u thuis, vul dan alleen de linker kolom (niet hoorbaar) in.
	← → Ik ben helemaal niet (0) gehinderd ... Ik ben extreem (10) gehinderd

Per regel één antwoord	**Niet hoorbaar**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Passagierstreinen	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Goederentreinen	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Spooronderhoud of enige andere activiteit op het spoor (bv rangeren, treinen wassen, geluiden van het station)	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑

18.	Denk bij deze vraag aan de afgelopen 12 maanden. Welk getal van 0 tot 10 geeft het beste aan in welke mate **geluid** van de onderstaande bronnen **uw slaap verstoort** wanneer u thuis bent? Als een bron niet waarneembaar is bij u thuis, vul dan alleen de linker kolom (niet hoorbaar) in.											
		Ik ben helemaal niet (0) slaapverstoord ←						→ Ik ben extreem (10) slaapverstoord				
Per regel één antwoord	**Niet hoorbaar**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Passagierstreinen	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Goederentreinen	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Spooronderhoud of enige andere activiteit op het spoor (bv rangeren, treinen wassen, geluiden van het station)	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑

Blok IV. Vragen over treinen / wonen aan het spoor

Nu volgt een aantal vragen over het treinverkeer in Nederland en over de spoorlijn en het treinverkeer bij u in de buurt.

19a.	Reist u, of reist iemand van uw gezinsleden regelmatig per trein naar werk of school?	❑ ❑	Minstens 1 van de gezinsleden reist doorgaans per trein naar werk of school Geen van de gezinsleden reist doorgaans per trein naar werk of school.
19b.	Houden uw werkzaamheden of die van uw huisgenoten verband met het spoor of/of treinverkeer?	❑ ❑	Ja, Nee

20.	Hebt u in **uwwoonkamer** ramen die uitkijken over: *Per regel één antwoord aankruisen*	**JA**	**NEE**
A	Een spoorweg/passerende treinen	❑	❑
B	Een rangeerterrein	❑	❑
C	Een treinstation	❑	❑
21.	Hebt u in **uwslaapkamer** ramen die uitkijken over: *Per regel één antwoord aankruisen*	**JA**	**NEE**
A.	Een spoorweg/passerende treinen	❑	❑
B.	Een rangeerterrein	❑	❑
C.	Een treinstation	❑	❑

22.	Denk bij deze vraag aan de afgelopen 12 maanden. Welk getal van 0 tot 10 geeft het beste aan in welke mate **u bezorgd bent over een aantal aspecten van treinverkeer** wanneer u thuis bent?										
	Ik ben helemaal niet (0) bezorgd ↔ Ik ben extreem (10) bezorgd										
Per regel één antwoord	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Hoe bezorgd bent u over uw gezondheid vanwege trillingen door de treinen	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Hoe bezorgd bent u over schade aan uw woning of uw bezittingen vanwege trillingen?	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Hoe bezorgd bent u over ongelukken op het spoor in uw buurt?	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Hoe bezorgd bent u over uw gezondheid vanwege wonen langs het spoor?	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Hoe bezorgd bent u voor uw veiligheid vanwege het wonen langs het spoor?	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Hoe bezorgd bent u voor een daling van de waarde van uw huis vanwege het wonen langs het spoor?	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑

23. Wat hebt u in het verleden gedaan aan de hinder door geluid en/of trillingen van de treinen die over de spoorlijn rijden of wat denkt u te gaan doen als u gehinderd zou worden door het geluid en/of de trillingen van treinen?

A	Alles over de spoorlijn te weten proberen te komen.	❑	❑	❑	❑	❑
B	Een klacht indienen.	❑	❑	❑	❑	❑
C	De spanning en hinder verminderen door te eten, drinken en/of roken	❑	❑	❑	❑	❑
D	Iets met buurtbewoners organiseren	❑	❑	❑	❑	❑
E	Iemand om hulp vragen	❑	❑	❑	❑	❑
F	Medicijnen gebruiken, als de spanning teveel wordt.	❑	❑	❑	❑	❑
G	Kwaad worden	❑	❑	❑	❑	❑
H	Officiële instantie (bv gemeente) inschakelen	❑	❑	❑	❑	❑
I	Betrokken persoon (bedrijf, instantie) bellen	❑	❑	❑	❑	❑
J	Verschillende mogelijkheden overwegen om iets aan de hinder te doen	❑	❑	❑	❑	❑
K	Verhuizen	❑	❑	❑	❑	❑

24. Zeer positief ← neutraal → Zeer negatief

Per regel één antwoord	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Staat u positief, neutraal of negatief tegenover **het huidige beleid t.a.v. het treinverkeer langs het spoor waar u woont?**	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Staat u positief, neutraal of negatief tegenover de plannen om **het huidige treinverkeer in Nederland op sommige plekken uit te breiden**?	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑

	Wilt u aangeven of u wel eens een van de volgende reacties heeft als u **treinen** hoort, ziet of voelt op het spoor bij uw woning?

25.	*Per regel één antwoord aankruisen*	**JA**	**NEE**
A.	Het voelt vertrouwd	❑	❑
B.	Ik word enthousiast	❑	❑
C.	Ik word rustig	❑	❑
覭	Ik schrik	❑	❑
E.	Ik word bang	❑	❑
F.	Ik krijg hartkloppingen	❑	❑

26. Wat vindt u van onderstaande uitspraken over **passagierstreinen**?

A. Passagierstreinen zijn

◄────────────────────────►

Niet milieuvriendelijk — Milieuvriendelijk

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑

B. Passagierstreinen zijn

◄────────────────────────►

Onnodig — Onmisbaar

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑

27. Wat vindt u van onderstaande uitspraken over **goederentreinen**?

A. Goederentreinen zijn

◄────────────────────────►

Niet milieuvriendelijk — Milieuvriendelijk

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑

B. Goederentreinen zijn

◄────────────────────────►

Onnodig — Onmisbaar

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑

28.	Hoe acceptabel vindt u de trillingen van het treinverkeer die u in de afgelopen 12 maanden thuis hebt ervaren of hoe acceptabel zou u het vinden als u die had ervaren?	❑ Zeer acceptabel ❑ Acceptabel ❑ Noch acceptabel, noch onacceptabel ❑ Onacceptabel ❑ Zeer onacceptabel

29.	Kunt u hieronder aangeven in welke mate u het eens bent met elk van de volgende maatregelen, die als tegemoetkoming zouden kunnen dienen om het ongemak van trillingen door treinen acceptabel te maken?					
	Per regel één antwoord aankruisen	**Helemaal mee eens**	**Mee eens**	**Niet mee eens en niet mee oneens**	**Mee oneens**	**Helemaal mee oneens**
A.	Een geldbedrag voor mensen die in de buurt van het spoor wonen	❑	❑	❑	❑	❑
B.	Een fonds voor mensen die in de buurt van het spoor wonen, waaruit eventuele schade ten gevolge van treinverkeer kan worden betaald	❑	❑	❑	❑	❑
C.	Extra plaatselijke voorzieningen, zoals een nieuw park of recreatiemogelijkheden	❑	❑	❑	❑	❑
D.	Een commissie die de bevoegdheid krijgt in te grijpen, wanneer naar haar mening het spoor gevaar oplevert voor de gezondheid	❑	❑	❑	❑	❑
E.	Een commissie die de verantwoordelijke instanties adviseert over de gang van zaken rondom het spoor	❑	❑	❑	❑	❑
F.	Een onafhankelijke organisatie die regelmatig de situatie op het gebied van geluid en milieu peilt en de resultaten openbaar maakt	❑	❑	❑	❑	❑
G.	Isolatievoorzieningen aan de woning tegen geluiden van treinen	❑	❑	❑	❑	❑
H.	Voorzieningen aan de woning tegen trillingen van treinen	❑	❑	❑	❑	❑

Blok V.Uw woning

Nu volgt een aantal vragen over uw huidige woning

30.	Woont u in een koop- of in een huurwoning?	❑ Koopwoning ❑ Huurwoning

31.	In wat voor type woning woont u?	❑	Een rijtjeshuis, hoekwoning, vrijstaand, twee onder een kap, villa, bungalow, landhuis → ***ga naar vraag 32c***
		❑	Een flat, etagewoning, appartement, maisonnette, bovenwoning, benedenwoning → ***ga naar vraag 32a***
		❑	Een boerderij, woning met tuindersbedrijf → ***ga naar vraag 32c***
		❑	Een woning met aparte winkel, kantoor-, praktijk- of bedrijfsruimte → ***ga naar vraag 32a***
		❑	Een wooneenheid met gezamenlijk gebruik van keuken of toilet → ***ga naar vraag 32a***
		❑	Geen van deze → ***ga naar vraag 32a***
32A.	Hoeveel **verdiepingen** heeft het gebouw waarin de woonruimte/woning ligt? *U moet daarbij de kelder en de begane grond niet als verdieping tellen.* ***De zolder moet u wel meetellen***	------|--------| Verdiepingen	
32B.	Op welke verdieping van het gebouw waarin uw woonruimte/woning ligt, ligt de **ingangnaaruw woonruimte / woning**?	❑	Op de begane grond
		❑	Op de eerste verdieping
		❑	Op de tweede verdieping
		❑	Op de derde verdieping
		❑	Op de vierde verdieping
		❑	Hoger dan de vierde verdieping
32C.	Op welke verdieping van het gebouw waarin uw woonruimte/woning ligt, ligt **uwslaapkamer**?	❑	Op de begane grond
		❑	Op de eerste verdieping
		❑	Op de tweede verdieping
		❑	Op de derde verdieping
		❑	Op de vierde verdieping
		❑	Hoger dan de vierde verdieping
33.	Hoeveel kamers heeft u woning? *Daarbij tellen de woon-, slaap-, en studeer- of werkkamers mee.*	------|--------| Kamers	
34.	Hebt u een kelder	❑	Ja
		❑	Nee
35a.	Van welk materiaal zijn de vloeren in uw woonkamer? *Het gaat om het materiaal onder de het parket, laminaat, zeil of vloerkleed*	❑	Beton
		❑	Hout
		❑	Anders, namelijk_ ___________________
		❑	Weet ik niet
35b.	Van welk materiaal zijn de vloeren in uw slaapkamer? *Het gaat om het materiaal onder de het parket, laminaat, zeil of vloerkleed*	❑	Beton
		❑	Hout
		❑	Anders, namelijk ___________________
		❑	Weet ik niet

36.	Verschillende voorzieningen kunnen worden toegepast om een woning te isoleren tegen geluiden van buiten of om energie te besparen. Kunt u voor elke soort isolatievoorziening hieronder aangeven of deze in uw woning is aangebracht?			
	Per regel één antwoord aankruisen	**JA**	**NEE**	**WEET NIET**
A.	Ramen met dubbel glas in de woonkamer	❑	❑	❑
B.	Ramen met dubbel glas in de slaapkamer	❑	❑	❑

37.	Verschillende maatregelen kunnen worden toegepast om een woning te isoleren tegen **trillingen** van verschillende bronnen. Kunt u hieronder aangeven of deze in uw woning zijn aangebracht?			
	Per regel één antwoord aankruisen	**JA**	**NEE**	**WEET NIET**
A.	Verstijven van de vloeren	❑	❑	❑
B.	Bevestigen van een zogenoemd veer en dempingapparaat	❑	❑	❑
C.	Anders,	❑	❑	❑
	namelijk ________________		➔ ***Indien alles "NEE" ga naar vraag 39***	

38.	Hoe tevreden bent u met het effect van deze maatregelen?	
		❑ Zeer tevreden ❑ Tevreden ❑ Niet tevreden, maar ook niet ontevreden ❑ Ontevreden ❑ Zeer ontevreden

39.	Wanneer u in de slaapkamer bent, hebt u de **ramen** dan meestal open of dicht?		
	Per regel één antwoord aankruisen	**OPEN**	**GESLOTEN**
A.	Zomer	❑	❑
B.	Winter	❑	❑

Blok VI Gezondheid en welzijn

Hieronder volgt een aantal vragen over uw gezondheid en welbevinden.

40.	Hoe is over het algemeen uw gezondheid?	
		❑ Zeer goed ❑ Goed ❑ Gaat wel ❑ Slecht ❑ Zeer slecht

41\. Deze vragen gaan over hoe u zich **de afgelopen vier weken** heeft gevoeld. Wilt u bij elke vraag het antwoord aankruisen dat het beste aansluit bij hoe u zich heeft gevoeld.

*Hoe vaak gedurende **de afgelopen vier weken**:*

Per regel één antwoord aankruisen	**Voortdurend**	**Meestal**	**Vaak**	**Soms**	**Zelden**	**Nooit**
a. Voelde u zich erg zenuwachtig?	❑	❑	❑	❑	❑	❑
b. Zat u zo erg in de put dat niets u kon opvrolijken?	❑	❑	❑	❑	❑	❑
c. Voelde u zich neerslachtig en somber?	❑	❑	❑	❑	❑	❑
d. Voelde u zich gelukkig?	❑	❑	❑	❑	❑	❑
e. Voelde u zich moe?	❑	❑	❑	❑	❑	❑

Hieronder staat een aantal uitspraken, die betrekking hebben op uw slaap.
In welke mate is elk van deze uitspraken toepasbaar op uw nachtrust in het algemeen?

42.	*Per regel één antwoord aankruisen*	**Van toepassing**	**Niet van toepassing**
a.	Ik doe vaak 's nachts geen oog dicht	❑	❑
b.	Ik sta 's nachts vaak op	❑	❑
c.	Ik lig 's nachts meestal erg te woelen	❑	❑
d.	Ik word 's nachts vaak meerdere malen wakker	❑	❑
e.	Ik vind dat ik meestal heel slecht slaap	❑	❑
f.	Ik slaap naar mijn gevoel vaak maar een paar uur	❑	❑
g.	Ik slaap vaak niet langer dan vijf uur	❑	❑
h.	Ik vind dat 's nachts meestal goed slaap	❑	❑
i.	Ik slaap meestal gemakkelijk in	❑	❑
j.	Ik voel mij 's ochtends nadat ik ben opgestaan meestal goed uitgerust	❑	❑
			↓ ***Indien alles NVT is, ga dan naar vraag 44***

43.	Met welke van de volgende gezondheidsklachten is het ongemak van een verminderde nachtrust het best te vergelijken? *Er is maar* ***een antwoord*** *mogelijk*
❑	Eén week verkoudheid tijdens een verder gezond jaar.
❑	Een enigszins gebrekkig gezichtsvermogen: *enige moeite met het lezen van de kleine letters in de krant, maar geen moeite om op een afstand van vier meter iemands gezicht te herkennen.*
❑	Lage rugpijn: *moeite met lopen, matige pijn en enige problemen met dagelijkse activiteiten (bijvoorbeeld werk, studie, huishoudelijk werk, gezinsactiviteiten en vrijetijdsbestedingen).*
❑	Twee weken lang longontsteking tijdens een verder gezond jaar.
❑	Een matige gehoorstoornis: *geen moeite met het voeren of volgen van een gesprek met één persoon maar wel moeite om deel te nemen aan een gesprek met twee of meer mensen.*
❑	Een vrij gebrekkig gezichtsvermogen: *grote moeite met het lezen van de kleine letters in de krant en nogal wat moeite om op een afstand van vier meter iemands gezicht te herkennen.*
❑	Het ongemak van verminderde nachtrust is **minder erg dan** dat van de genoemde gezondheidsklachten
❑	Het ongemak van verminderde nachtrust is **erger dan** dat van de genoemde gezondheidsklachten.
❑	Ik kan het ongemak van verminderde nachtrust niet vergelijken met de genoemde gezondheidsklachten.
❑	Ik ben er in principe tegen om verminderde nachtrust te vergelijken met gezondheid.

44. De volgende lijst betreft verschillende klachten en verschijnselen die u mogelijk hebt. Het gaat steeds om klachten en verschijnselen die u **de afgelopen week (de afgelopen 7 dagen met vandaag erbij)** hebt ervaren. Klachten die u daarvoor had, maar de afgelopen week niet meer, tellen niet mee.

Wilt u per klacht aangeven hoe vaak u die in de afgelopen week bij uzelf hebt opgemerkt, door het hokje aan te kruisen dat staat voor het meest passende antwoord.
Hebt u ***de afgelopen week*** *last van:*

Per regel één antwoord aankruisen	Nee	Soms	Regelmatig	Vaak	Heel vaak of voort durend
a. Duizeligheid of een licht gevoel in het hoofd?	❑	❑	❑	❑	❑
b. Pijnlijke spieren?	❑	❑	❑	❑	❑
c. Pijn in de rug, nek of schouders?	❑	❑	❑	❑	❑
d. Hoofdpijn?	❑	❑	❑	❑	❑
e. Een opgeblazen gevoel in de buik?	❑	❑	❑	❑	❑
f. Misselijkheid of een maag die “van streek” is?	❑	❑	❑	❑	❑
g. Pijn in de buik of maagstreek?	❑	❑	❑	❑	❑
h. Een drukkend of beklemmend gevoel op de borst?	❑	❑	❑	❑	❑
i. Pijn in de borst?	❑	❑	❑	❑	❑
j. Vermoeidheid?	❑	❑	❑	❑	❑

45. Wilt u bij de volgende medicijnen aangeven of u die in de afgelopen 2 weken hebt gebruikt en of u deze op recept of zonder recept hebt gekregen.

	Geef op iedere regel uw antwoord	Niet gebruikt	Op recept	Zonder recept
a.	Medicijnen voor het hart, de bloedvaten of de bloeddruk	❑	❑	❑
b.	Slaap- en kalmeringsmiddelen, middelen tegen de zenuwen	❑	❑	❑
c.	Antidepressiva	❑	❑	❑
d.	Medicijnen tegen reuma, gewrichtspijnen etc.	❑	❑	❑
e.	Medicijnen tegen astma, CARA	❑	❑	❑

Blok VII. Uzelf en uw huishouden

Ten slotte willen we nog graag een aantal vragen stellen over uzelf

46. Wat is uw geslacht?	❑ Man ❑ Vrouw
47. Wat is uw geboortejaar?	19________
48. Wat is uw **hoogstvoltooideopleiding**? *(een opleiding afgerond met diploma of voldoende getuigschrift)*	❑ Geen opleiding (lagere school niet afgemaakt) ❑ Lager onderwijs (basisonderwijs, special basisonderwijs) ❑ Lager of voorbereidend beroepsonderwijs (zoals ambachtsschool, huishoudschool, LTS, LEAO, LHNO,

	VMBO) ❑ Middelbaar algemeen voortgezet onderwijs (zoals MAVO, (M)ULO, MBO-kort, VMBO-t) ❑ Middelbaar beroepsonderwijs en beroepsbegeleidend onderwijs (zoals vakopleidingen bakker of kapper, MBO-lang, MTS, UTS, MEAO, BOL, BBL, INAS) ❑ Hoger algemeen en voorbereidend wetenschappelijk onderwijs (zoals HAVO, VWO Atheneum, Gymnasium, HBS, MMS) ❑ Hoger beroepsonderwijs (zoals kweekschool, HBO, HTS, HEAO, HBO-V, kandidaats wetenschappelijk onderwijs), ❑ Wetenschappelijk onderwijs (universiteit) ❑ Anders, namelijk ....

49.	Welke situatie is op u van toepassing? *Er zijn meerdere antwoorden mogelijk*	❑ Ik werk, betaald, 32 uur of meer per week ❑ Ik werk, betaald, 20 of meer maar minder dan 32 uur per week ❑ Ik werk, betaald, 12 of meer maar minder dan 20 uur per week ❑ Ik werk, betaald, minder dan 12 uur per week ❑ Ik ben (vervroegd) met pensioen (AOW, VUT, FPU) ❑ Ik ben werkloos/werkzoekend (geregistreerd bij het UWV WERK ❑ bedrijf; voorheen CWI/het arbeidsbureau) ❑ Ik ben arbeidsongeschikt (denk aan WAO, AAW, WAZ, WAJONG) ❑ Ik heb een bijstandsuitkering ❑ Ik ben fulltime huisvrouw/huisman ❑ Ik volg onderwijs/ik studeer
50.	Tot welke bevolkingsgroep rekent u zichzelf? *Er is slechts een antwoord mogelijk*	❑ Nederlandse ❑ Surinaamse ❑ Antilliaanse ❑ Arubaanse ❑ Turkse ❑ Marokkaanse ❑ Anders, nl
51.	Wat is het netto inkomen van uw huishouden? *Netto is het bedrag dat u en uw gezinsleden maandelijks op uw bank- of girorekening(en) krijgt. Dit zijn inkomsten uit arbeid, pensioen, uitkeringen of alimentatie. Eventuele kinderbijslag, vakantie uitkering of andere toeslagen zoals zorgtoeslag, huurtoeslag, kindertoeslag en kinderopvangtoeslag moet u niet meerekenen*	❑ €1.000, - of minder ❑ €1.001,- tot en met €1.350, - ❑ €1.351, - tot en met €1.800, - ❑ €1.801, - tot en met €3.150, - ❑ €3.151, - of meer ❑ Wil ik niet zeggen
52.	Tot slot willen we graag weten hoeveel het voor u waard zou zijn om de effecten van trillingen te verminderen. Bent u bereid om daarover een aantal vragen te beantwoorden?	❑ Ja, ga door naar vraag 53 ❑ Nee, ga door naar vraag 59

Blok VIII. Kosten om trillingen te voorkomen of te accepteren

We verzoeken u vriendelijk om onderstaande tekst goed door te nemen, voordat u verder gaat met het invullen van de vragenlijst. We willen u graag een aantal vragen stellen om een idee te krijgen hoe er volgens u moet worden omgegaan met kosten voor maatregelen om de gevolgen van trillingen door treinverkeer in uw leefomgeving te voorkomen en/of terug te dringen.

Er zijn bepaalde maatregelen mogelijk om het huidige niveau van trillingen door treinverkeer te verlagen. **Stel dat** de overheid deze maatregelen maar voor een deel kan financieren, en dat aan ***u*** gevraagd zou worden welk bedrag u over zou hebben voor minder trillingen door treinverkeer. Het gaat er dan om de nadelige effecten (hinder slaapverstoring, schade aan de woning) voor iedereen te voorkomen: **met andere woorden het bedrag dat u voor de maatregel**

over hebt kan een verbetering geven voor alle mensen die last van trillingen ondervinden.

Deze vragen zijn weliswaar gebaseerd op de huidige situatie rondom trillingen door treinverkeer, maar ze zijn **hypothetisch** van aard; dat wil zeggen dat ze op een veronderstelling berusten. Er zijn dan ook geen juiste of onjuiste antwoorden en er zal aan u geen bedrag in rekening worden gebracht.

53.	Geef aan wat u vindt van deze stelling: Ik ben bereid om een geldbedrag te betalen om het niveau van trillingen door treinen terug te dringen om zo de gevolgen voor iedereen te voorkomen	❑ Helemaal mee eens → ***ga naar vraag 54*** ❑ Mee eens → ***ga naar vraag 54*** ❑ Niet mee eens en niet mee oneens → ***ga naar vraag 54*** ❑ Oneens → ***ga naar vraag 56*** ❑ Helemaal mee oneens → ***ga naar vraag 56***

NB Het bedrag dat u aangeeft te willen betalen, moet uit uw eigen huishoudelijk budget komen. Dit betekent dat u minder kunt uitgeven aan uw dagelijkse aankopen van producten en diensten en/of minder kunt sparen.

Neem bij het beantwoorden van de volgende vragen de **hoogte van het netto inkomen van uw huishouden** in gedachten

54	Wat is het **maximale bedrag** dat u er persoonlijk, gedurende de rest van uw leven ieder jaar voor over zou hebben om de gevolgen van trillingen door treinverkeer te voorkomen?	Het maximale geldbedrag dat ik er voor over heb is € …… per jaar. **Bedrag 0 ga naar vraag 56** ❑ Ik weet het niet

55.	Het bedrag dat ik bereid ben te betalen, hangt af van de vraag:					
	Per regel één antwoord aankruisen	**Helemaal mee eens**	**Mee eens**	**Niet mee eens en niet mee oneens**	**Mee oneens**	**Helemaal mee oneens**
A.	Hoe sterk de bewijzen zijn voor het verband tussen de blootstelling aan trillingen door treinverkeer en de gevolgen voor de gezondheid	❑	❑	❑	❑	❑
B.	Hoe ernstig de gevolgen zijn	❑	❑	❑	❑	❑
C.	Of de gevolgen al of niet omkeerbaar zijn	❑	❑	❑	❑	❑
D.	Of de gevolgen nu optreden of in een latere fase van mijn leven	❑	❑	❑	❑	❑
E.	Of ik op dat moment nog een inkomen heb of niet	❑	❑	❑	❑	❑
F.	Hoeveel aandacht de media besteden aan kwesties op het gebied van trillingen door treinverkeer	❑	❑	❑	❑	❑
G.	Welke informatie de overheid verstrekt over verschillende maatregelen om een vermindering van de trillingen te bewerkstelligen	❑	❑	❑	❑	❑
H.	Of ik zeker weet dat andere mensen ook bijdragen	❑	❑	❑	❑	❑
I.	Hoe groot de kans is dat ik baat zal hebben bij maatregelen voor het verminderen van de trillingen door treinverkeer	❑	❑	❑	❑	❑
J.	Hoe groot de kans is dat de samenleving in het	❑	❑	❑	❑	❑

	algemeen baat zal hebben bij maatregelen voor het verminderen van de trillingen door treinverkeer					
		↓ ***Ga direct door naar vraag 58A (Iedereen die vraag 54 en 55 heeft ingevuld hoeft vraag 56 en 57 NIET te beantwoorden)***				
56.	Hoe zou er volgens u dan moeten worden omgegaan met kosten voor maatregelen om de gevolgen van trillingen door treinverkeer in uw leefomgeving te voorkomen en/of terug te dringen? Kunt u hieronder aangeven in welke mate u het eens bent met de volgende uitspraak?					
	Per regel één antwoord aankruisen	**Helemaal mee eens**	**Mee eens**	**Niet mee eens en niet mee oneens**	**Mee oneens**	**Helemaal mee oneens**
A	Kosten voor het terugdringen van trillingen door treinverkeer moeten worden opgenomen in de prijzen voor transport (brandstofprijs, spoorwegbelastingen, spoorwegonderhoud, spoorwegtoeslag)	❑	❑	❑	❑	❑
B	De overheid moet alle kosten van het terugdringen van trillingen door treinverkeer betalen	❑	❑	❑	❑	❑
C	De veroorzakers van de trillingen moeten de kosten van het terugdringen van trillingen door treinverkeer betalen	❑	❑	❑	❑	❑

57.	Er kunnen ook nog andere redenen zijn waarom u geen geldbedrag over heeft om het niveau van trillingen door treinverkeer terug te dringen. *Kies het passende antwoord* *Er zijn meerdere antwoorden mogelijk*	❑ De gevolgen van trillingen door treinverkeer zijn te verwaarlozen ❑ Ik ben er in principe tegen dat er een geldbedrag wordt gekoppeld aan effecten van trillingen op gezondheid en welbevinden ❑ Een andere reden

58A. Wij willen graag weten of u bereid bent gedurende de rest van uw leven jaarlijks een compensatie in geld te ontvangen en in ruil daarvoor de risico's van de huidige niveaus van trillingen door treinen te accepteren. <u>Geef aan wat u vindt van deze stellingen</u>

a.	Ik ben bereid de risico's van trillingen door treinen te accepteren, indien ik daarvoor voldoende compensatie ontvang.	❑ Helemaal mee eens ❑ Mee eens ❑ Niet mee eens en niet mee oneens ❑ Oneens ❑ Helemaal mee oneens
b.	Ik ben bereid de risico's van trillingen, niet noodzakelijkerwijs door treinen, te accepteren, indien ik daarvoor voldoende compensatie ontvang.	❑ Helemaal mee eens ❑ Mee eens ❑ Niet mee eens en niet mee oneens ❑ Oneens ❑ Helemaal mee oneens
c.	Als nieuw onderzoek aantoont dat trillingen door treinen leidt tot gevolgen voor de gezondheid, wil ik een hoger geldbedrag ontvangen ter	❑ Helemaal mee eens ❑ Mee eens

59.	Mogen we contact met u opnemen als we merken dat we meer informatie nodig hebben?	❑ Ja, u mag mij benaderen, maar ik verplicht mij tot niets ❑ Nee					
60.	Mogen we contact met u opnemen voor een vervolg onderzoek?	❑ Ja, u mag mij benaderen, maar ik verplicht mij tot niets ❑ Nee → ***ga dan naar vraag 62***					
61a	Wat is uw postcode?						
61b	Wat is uw huisnummer?						
61c	Toevoeging huisnummer I						
61d	Toevoeging huisnummer II						
62 Wilt u nog informatie kwijt die relevant is voor het onderzoek?							
	compensatie.	❑ Niet mee eens en niet mee oneens ❑ Oneens ❑ Helemaal mee oneens					
58B	Wat is het **minimale** geldbedrag dat u voldoende vindt als jaarlijkse compensatie gedurende de rest van uw leven om het risico van treinen in uw leefomgeving te accepteren?	❑ Het minimale geldbedrag dat ik bereid ben te accepteren, is : € | per jaar . Ik weet het niet					

Hartelijk dank voor het invullen van deze vragenlijst.

Bijlage 4 Vragen in rapportage

Inhoud item	Codering	Bron
Sinds wanneer woont u op uw huidige adres?	dd-mm-jjjj	[31]
Uit hoeveel personen bestaat het huishouden		[31]
Huishoudsamenstelling		[31]
Hoe tevreden bent u met uw woonomgeving	Score van 1 tot 10	[32]
Prettige kanten woonomgeving		[56]
Buurt voor of achteruit gegaan?(verleden)	0 = nee, 1 = ja	[22]
Buurt voor of achteruit? (toekomst)	0 = nee, 1 = ja	[22]
Aspecten Achteruitgang		[22]
Trilllingen waarneembaar per bron	0 = nee, 1 = ja	[21]
Trillingen Hinder per bron	Schaal van 0 tot 10	[21, 41, 57]
Waarneming reizigerstreinen	0 = nee, 1 = ja	[7]
Waarneming goederentreinen	0 = nee, 1 = ja	[7]
Waarneming Spoor	0 = nee, 1 = ja	[7]
Waarneming trillingen	0 = nee, 1 = ja	[58]
Waarneming trillingen	0 = nee, 1 = ja	[21]
Hinder Trillingen passagierstreinen	Schaal van 0 tot 10	[7, 21]
Goederentreinen waarneembaar	0 = nee, 1 = ja	[7, 21]
Hinder Trillingen goederentreinen	Schaal van 0 tot 10	[7, 21]
Spoor waarneembaar	0 = nee, 1 = ja	[7, 21]
Hinder Trillingen Spoor	Schaal van 0 tot 10	[7, 21]
Treinen per soort waarneembaar		[7, 21]
Slaapverstoring trillingen spoor	Schaal van 0 tot 10	[41, 57]
Geluid, waarneming en hinder per bron	0 = nee, 1 = ja Schaal van 0 tot 10	[41]
Geluid per bron hoorbaar	0 = nee, 1 = ja	[41, 57]
Slaapverstoring geluid per bron	Schaal van 0 tot 10	[41, 57]
Spoor geluid hoorbaar	0 = nee, 1 = ja	[57]
Spoor hoorbaar	0 = nee, 1 = ja	[57]
Slaapverstoring geluid Spoor	Schaal van 0 tot 10	[57]
Reis per trein	0 = nee, 1 = ja	[7]
Werk bij spoor	0 = nee, 1 = ja	[7]
Uitzicht spoorweg/treinen		[59]
Bezorgdheid trillingen		[7]
Coping	Helemaal eens – helemaal oneens	[60]
Houding beleid	Als genoteerd	[22]
Houding groei	Als genoteerd	[22]
Angst		[22]
Houding reizigerstrein	Schaal van 0 tot 10	[7]
Noodzaak reizigers treinen (0-10)	Schaal van 0 tot 10	[7]
Houding goederentreinen	Schaal van 0 tot 10	[7]
Noodzaak goederentreinen (0-10)	Schaal van 0 tot 10	[7]
Acceptatie	Helemaal niet – helemaal	Nieuw

	wel (1-5)	
Compensatie	Helemaal niet – helemaal wel (1-5)	[35]
Huisbezit		[31]
Type woning	6 categorieën	[33]
Aantal verdiepingen		[33]
Ligging ingang		[33]
Ligging slaapkamer	6 categorieën	[33]
Aantal kamers		[33]
Kelder	3 categorieën	[33]
Soort vloer	Als genoteerd	[7]
Isolatievoorzieningen		[7]
Dubbel glas Slaapkamer		[7]
Maatregel vloer		[7]
Hoe tevreden bent u met maatregelen?	Schaal van 0 tot 10	[7]
Slaapkamerraam open in zomer		[61]
Algemene gezondheid	Schaal van 1 tot 5	[49]
Mentale gezondheid en Vitaliteit	Schaal van 1 tot 5	[49]
Medicijngebruik	0 = nee, 1 = ja	[22, 31]
Geslacht		
Geboortejaar		
Wat is uw hoogst voltooide opleiding?	9 categorieën	[31]
Werk		[31]
Bevolkingsgroep	6 categorieën	[31]

Bijlage 5 Non respons vragenlijst

Respondentnummer : nummer

Wonen langs het spoor: Onderzoek onder niet deelnemers

1. Sinds wanneer woont u op dit adres?	------|------|------|-------| ------|------|	Jaar Maand

2. Hoe tevreden bent u met uw woonomgeving? Druk dit uit in een rapportcijfer van 1 t/m10, 1 = zeer ontevreden, 10 = zeer tevreden.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑

3. Als u denkt aan de afgelopen 12 maanden, welk getal van 0 tot 10 geeft het beste aan in welke mate trillingen van onderstaande bronnen u hinderen, storen of ergeren wanneer u thuis bent? Als een bron niet waarneembaar is bij u thuis, vul dan alleen de linker kolom (niet waarneembaar) in.

Ik ben helemaal niet (0) gehinderd

Ik ben extreem (10) gehinderd

Per regel één antwoord	**Niet waarneembaar**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Treinverkeer	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑

4. Wat is uw geslacht?	❑ Man ❑ Vrouw
5. Wat is uw geboortejaar?	19___________
6. Wat is uw hoogst voltooide opleiding? (een opleiding afgerond met diploma of voldoende getuigschrift)	❑ **Geen opleiding** (lagere school niet afgemaakt) ❑ **Lager onderwijs** (basisonderwijs, special basisonderwijs) ❑ **Lager of voorbereidend beroepsonderwijs** (zoals ambachtsschool, huishoudschool, LTS, LEAO, LHNO, VMBO) ❑ **Middelbaar algemeen voortgezet onderwijs** (zoals MAVO, (M)ULO, MBO-kort, VMBO-t) ❑ **Middelbaar beroepsonderwijs** en beroepsbegeleidend onderwijs (zoals vakopleidingen bakker of kapper, MBO-lang, MTS, UTS, MEAO, BOL, BBL, INAS) ❑ **Hoger algemeen en voorbereidend wetenschappelijk**

	❑ **onderwijs** (zoals HAVO, VWO Atheneum, Gymnasium, HBS, MMS) ❑ **Hoger beroepsonderwijs** (zoals kweekschool, HBO, HTS, HEAO, HBO-V, kandidaats wetenschappelijk onderwijs), **Wetenschappelijk onderwijs** (universiteit)

7.	Zeer positief ← neutraal → Zeer negatief										
Per regel één antwoord	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Staat u positief, neutraal of negatief tegenover **het huidige beleid t.a.v. het treinverkeer langs het spoor waar u woont?**	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Staat u positief, neutraal of negatief tegenover de plannen om **het huidige treinverkeer in Nederland op sommige plekken uit te breiden**?	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑

Wat was de reden om niet met het onderzoek mee te doen?	❑ **Geen tijd** ❑ **Geen belangstelling** ❑ **Andere reden, namelijk** --- --- --- --- ---------------------------

Wilt u deze lijst alstublieft volledig invullen en in de bijgevoegde envelop terugsturen naar het RIVM (postzegel is niet nodig)

Bijlage 6 Weegfactoren en statistische methoden

Weegfactoren

Om tot betrouwbare schattingen van het voorkomen van (prevalenties) de gezondheids- en belevingsindicatoren in het vragenlijstonderzoek te komen in de totale populatie, is het nodig om de getrokken steekproef terug te wegen naar de doelpopulatie (alle personen van 16 jaar en ouder) in het onderzoeksgebied. Daartoe krijgt elke respondent in de studie een weegfactor toegekend. Deze weegfactor geeft weer hoeveel personen in de doelpopulatie elke respondent representeert. De in de analyses gebruikte weegfactor houdt rekening met de volgende mogelijke bronnen van vertekening:

1. De trekkingskans of steekproeffractie: Dit is de kans van elk persoon van 16 jaar en ouder in het onderzoeksgebied om deel uit te maken van de steekproef, gestratificeerd naar afstand, bouwjaar van de woning en bodemtype. Deze weegfactor is berekend door het aantal personen in een stratum te delen door het aantal personen van 16 jaar en ouder dat in dat stratum woont.
2. Unit non-respons: dit is het volledig ontbreken van vragenlijstinformatie over een persoon. Een deel van de in de steekproef geselecteerde personen zal om verschillende redenen geen vragenlijst hebben geretourneerd (bijvoorbeeld weigering, verhuizing, taalprobleem). De weegfactor is berekend door het aantal personen per stratum in de steekproef te delen door het aantal personen per stratum dat daadwerkelijk aan het onderzoek heeft deelgenomen.
3. Item non-respons: Dit is het niet of niet juist invullen van vragen (items) van de vragenlijst door de deelnemer waardoor zijn of haar gegevens niet betrokken kunnen worden in de analyse. Deze weegfactor wordt berekend door voor elke afzonderlijke analyse het aantal personen per stratum dat heeft deelgenomen aan het onderzoek te delen door het aantal personen per stratum dat de vraag onder studie daadwerkelijk heeft beantwoord.

In paragraaf 3.7 werd al geconstateerd dat er zeer waarschijnlijk sprake is van selectieve non-respons. Dit heeft tot gevolg dat de deelnemers aan ons onderzoek niet geheel representatief zijn voor de totale steekproef, wat mogelijk resulteert in een vertekening van de eindresultaten. Het is normaal gesproken mogelijk om door middel van een weegfactor in de analyses rekening te houden met selectieve non-respons. Deze weegfactor wordt gebaseerd op de variabelen waarover voor zowel respondenten- als non-respondenten informatie beschikbaar is. Hierbij wordt aangenomen dat de deelnemers aan het non-respons onderzoek een representatieve afspiegeling zijn van de totale groep non-respondenten, maar met een respons van 29% in het non-respons onderzoek is dit twijfelachtig. De resultaten van het non-respons onderzoek zijn ons inziens daarom niet bruikbaar om een weegfactor voor selectieve non- respons af te leiden. In de uiteindelijke analyses kan dan ook geen rekening gehouden worden met selectieve non-respons in kwantitatieve zin. Bij de interpretatie kan dat in kwalitatieve zin natuurlijk wel.

De wijze van steekproeftrekking kan ervoor zorgen dat de demografische opbouw van de steekproef verschilt van de totale populatie in het onderzoeksgebied. Het is immers vrijwel onmogelijk om een steekproef te trekken die volledig rekening houdt met de leeftijds- en geslachtopbouw van de populatie. Hiervoor kan in de analyses gecorrigeerd worden door de

demografische opbouw van de deelnemers (naar leeftijd en geslacht) te vergelijken met externe demografische gegevens van de totale populatie in het onderzoeksgebied. Vaak zijn deze gegevens afkomstig van het CBS en beschikbaar op postcode-6 niveau. Het onderzoeksgebied wordt echter niet afgebakend aan de hand van postcodegebieden.

De bijlage van weegfactoren bij vragenlijstonderzoek is eerder uitgebreid beschreven in Bijlage G van RIVM-rapport 630100001 [62].

Statistische procedures

Prevalentieschattingen
De prevalentie is in dit onderzoek gedefinieerd als het percentage van de onderzoekspopulatie dat ten tijde van het onderzoek ernstige hinder, slaapverstoring of een slechte algemene gezondheidstoestand rapporteerde. Om tot valide schattingen van de prevalenties van de eindpunten in het vragenlijstonderzoek te komen is het nodig om de getrokken steekproef terug te wegen naar de doelpopulatie (alle personen van 16 jaar en ouder) in het onderzoeksgebied. Daartoe krijgt elke respondent in de studie een weegfactor toegekend. Deze weegfactor geeft weer hoeveel personen in de doelpopulatie elke respondent symboliseert. Weegfactoren zijn noodzakelijk om schattingen van populatieparameters zonder bias uit te kunnen voeren. De in de analyses gebruikte weegfactor houdt rekening met de steekproeffractie en de unit en item non-respons. Daarnaast wordt bij het bepalen van de weegfactoren rekening gehouden met de gebruikte stratificatie naar afstand van de spoorlijn, grondsoort en bouwjaar van de woning.

Determinantenanalyse
Om de invloed van trillingen van het treinverkeer op de ondervonden hinder, slaapverstoring en de algemene gezondheid te verklaren, is gebruikgemaakt van logistische regressieanalyses. Hierbij staat de vraag centraal hoe scores op een eindpunt (in dit geval ernstige hinder, slaapverstoring en de algemene gezondheid) samenhangen met de scores op meerdere verstorende variabelen (predictoren). Hierbij wordt rekening gehouden met de onderlinge samenhang tussen de verschillende predictoren. Omdat er sprake is van een gestratificeerde steekproef is de procedure SURVEYLOGISTIC van SAS (versie 9.3) gebruikt [63].

De mogelijk verstorende variabelen zijn deels a priori gekozen op basis van de literatuur, en aangevuld met variabelen die bij oriënterende, non-parametrische analyses het eindpunt het beste bleken te voorspellen.

Stapsgewijs zijn vier modellen berekend voor ernstige hinder door het totale treinverkeer en ernstige hinder door passagierstreinen en goederentreinen afzonderlijk en voor de algemene gezondheidstoestand:

Model 0	Ernstige hinder vs de blootstelling aan trillingen door treinverkeer (afstand of RMS of V_{max}).
Model 1	Gelijk aan model 0 met toevoeging van het bodemtype, de verhouding tussen goederen- en personentreinen, de verhouding tussen treinen gedurende de dag en de nacht, stedelijkheid, woonduur en de geluidbelasting door treinverkeer (L_{den}).
Model 2	Gelijk aan model 0 met toevoeging van *rattle*, bezorgdheid over schade, houding ten opzichte van het beleid en de verwachting

dat de trillingen door treinverkeer het komende jaar zullen toenemen.

Model 3 Combinatie van model 1 en 2 waarbij de belangrijkste determinanten uit model 1 en 2 zijn opgenomen.

Voor ernstige slaapverstoring door het totale treinverkeer en voor passagierstreinen en goederentreinen afzonderlijk is een vergelijkbare aanpak gevolgd, maar zijn andere predictoren gebruikt:

Model 0 Ernstige slaapverstoring vs de blootstelling aan trillingen door treinverkeer (afstand of RMS of V_{max}).

Model 1 Gelijk aan model 0 met toevoeging van de verhouding tussen goederen- en personentreinen, de verhouding tussen treinen gedurende de dag en de nacht, stedelijkheid, woonduur en de geluidbelasting door treinverkeer (L_{den}).

Model 2 Gelijk aan model 0 met toevoeging van de verdieping waarop men woont, slapen met open/dichte ramen en de aanwezigheid van dubbel glas in de slaapkamer.

Model 3 Gelijk aan model 0 met toevoeging van *rattle*, bezorgdheid over schade, houding ten opzichte van het beleid en de verwachting dat de trillingen door treinverkeer het komende jaar zullen toenemen.

Model 4 Combinatie van model 1, 2 en 3 waarbij de belangrijkste determinanten uit model 1, 2 en 3 zijn opgenomen.

Blootstelling-effectrelaties

De in deze studie gepresenteerde blootstelling-effect(BE)-relaties (ook wel blootstelling-responsrelaties genoemd) beschrijven de procentuele toe- of afname van een effect in de onderzoekspopulatie (bijvoorbeeld ernstige hinder) bij verschillende niveaus van blootstelling door trillingen van treinen. De BE-relaties zijn weergegeven als een eenvoudige X-Y grafiek waarin de blootstelling aan trillingen of de afstand van de woning tot het spoor op de x-as is uitgezet tegen het verwachte percentage van de populatie dat het effect zal rapporteren. De blootstelling van V_{max} en RMS is uitgezet op een logaritmische schaal.
Voor het vaststellen van de BE-relatie is een schatting gemaakt van het aantal ernstig gehinderden per deciel van de blootstellingsverdeling. Deze schattingen zijn uitgezet in een grafiek en door de 10 punten is een logaritmische lijn gefit.

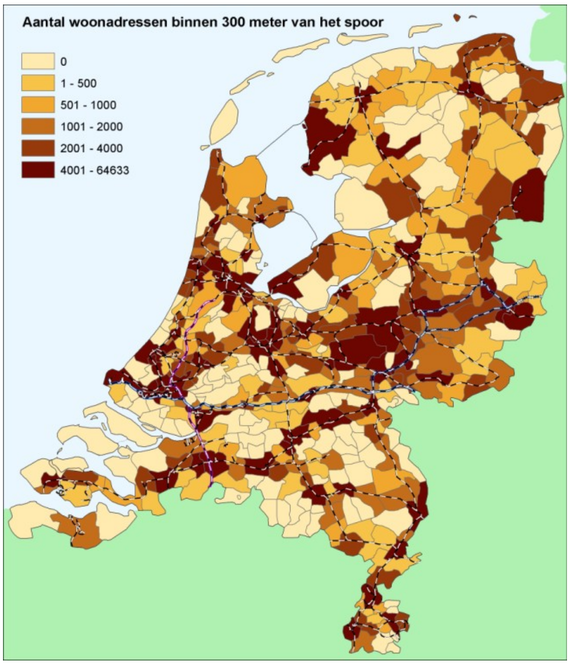
Deze BE-relaties zijn een eenvoudige weergave van de werkelijkheid omdat er geen andere determinanten zijn meegenomen die van invloed kunnen zijn op de gerapporteerde ernstige hinder. De gemodelleerde relatie geeft daarom een indicatie van de gerapporteerde ernstige hinder in de onderzoekspopulatie bij verschillende trillingsintensiteiten, maar kan geen uitspraak doen over lokale situaties of de hinder die een individu zal ondervinden. Als – bijvoorbeeld – nachtelijke blootstelling aan trillingen tot meer hinder leidt dan blootstelling overdag, dan zal dit van invloed zijn op het percentage omwonenden van een spoortracé dat ernstige hinder zal rapporteren.

Bijlage 7 Steekproeftrekking: selectie van woningen

Voor de selectie van de woningen werden drie stappen onderscheiden:
- Vaststellen van het onderzoeksgebied en identificatie van woningen
- Selectie van woningen op basis van afstand, bouwjaar en bodemtype
- Selectie op basis van andere fysiek-contextuele kenmerken

Vaststellen onderzoeksgebied en identificatie van woningen
Het onderzoeksgebied omvat alle gebieden in Nederland die tot maximaal 300 meter van een spoorlijn liggen. Een belangrijk uitgangspunt van het onderzoek was dat het op een landelijk schaalniveau moest worden uitgevoerd. De invloed van trillingen is kleiner naarmate de afstand tot de trillingsbron groter is. Hoewel in een aantal studies [16] een afkappunt van 200 meter werd gebruikt en in de studie uitgevoerd door de Universiteit van Salford zelfs een afkappunt van 150 meter [21, 64], bleek uit de meta-analyse van Janssen et al dat ook buiten het 200 meter gebied nog steeds een percentage mensen woonde dat (ernstig) gehinderd was door de trillingen van het treinverkeer [3]. Over het algemeen wordt ervan uitgegaan dat op een afstand verder dan 250 meter trillingen niet meer worden waargenomen (zie onder andere [9, 65]). Op basis van deze bevindingen is besloten om voor dit onderzoek het afkappunt bij 300 meter te leggen (waarbij het 250-300 meter gebied als controlegebied kan worden beschouwd).

Uit het bestand ‘Basisregistraties Adressen en Gebouwen’ (BAG, 2012) van het Kadaster werden met behulp van een Geografisch Informatie Systeem, de adresgegevens verkregen van alle gebouwen in Nederland. Voor al deze gebouwen is de afstand (in meters) tot de dichtstbijzijnde spoorlijn berekend. Hieruit is een selectie gemaakt van alle gebouwen die tot een afstand van 300 meter van het spoor liggen. In totaal ging het om ongeveer een miljoen adressen. Gebouwen die volgens het BAG geen woonbestemming hadden en/of die niet de status ‘in gebruik’ hadden, werden van deelname uitgesloten. In Figuur B7.1 wordt weergegeven hoe deze adressen per gemeente zijn verdeeld over Nederland.



Figuur B7.1 Aantal woonadressen per gemeente binnen 300 meter van het spoor.

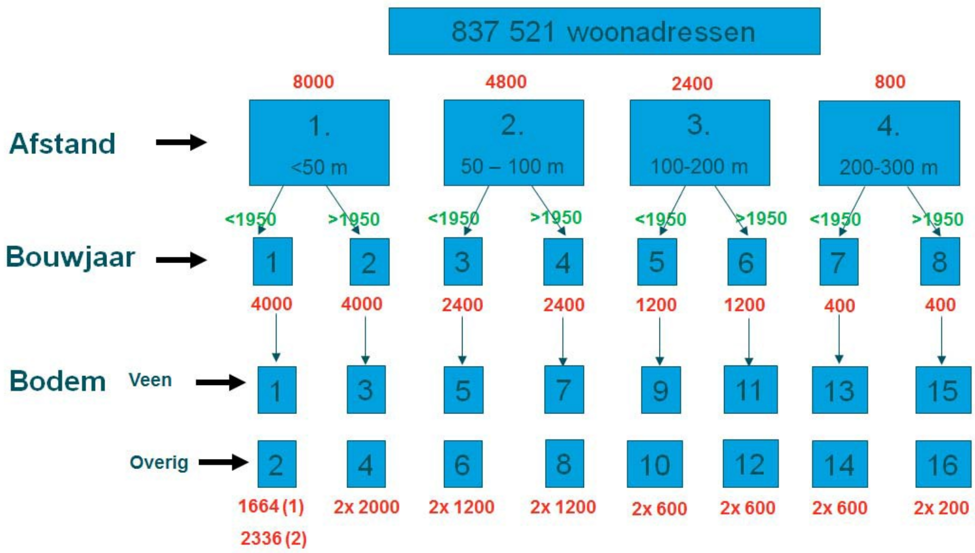
Selectie van woningen op basis van afstand, bouwjaar en bodemtype
Voor de resterende 837.521[9] adressen is informatie verzameld over het bouwjaar van het gebouw en het bodemtype waarop het gebouw staat. Uit onderzoek is gebleken dat de constructie van een gebouw van belang is. Zo bleek bijvoorbeeld uit het onderzoek van Öhrström en Skanberg dat mensen die in huizen woonden met een houten constructie meer hinder door trillingen ondervonden dan mensen die in huizen woonden met een betonnen constructie [14]. Ook de manier van funderen is van belang: een nauwelijks gefundeerde schuur trilt mee met de bodem, terwijl een gebouw met funderingsbalken die zijn verankerd in betonnen heipalen veel minder zal meetrillen [65]. Ook de bouwkundige staat van het gebouw bepaalt hoe de trillingen bij de ontvanger worden ervaren.

Factoren als de afstand tot het spoor en de geofysische kenmerken van de bodem zijn van belang voor de overdracht van de trillingen tussen bron en ontvanger. Elke keer als een trein over het spoor rijdt wordt daar de grond ingedrukt en ontstaat een bodemtrilling. Als de bodem zacht is (zoals bijvoorbeeld bij veengrond) is er vaak meer demping dan bijvoorbeeld op een harde zandgrond. De harde zandgrond kan door intrillen verder verharden waardoor het spoortracé steeds beter de trillingen kan doorgeven en ze op steeds grotere afstand voelbaar worden [66]. Daarnaast is het zo dat een combinatie van verschillende bodemtypes door of naast elkaar ook nog van invloed kan zijn op de mate waarin een trilling wordt doorgegeven: daardoor worden de trillingen in de bodem in sommige gevallen op korte afstand van het spoor minder goed waargenomen dan op grotere afstand van het spoor.

[9] De aantallen adressen die uiteindelijk zijn gebruikt kunnen nog iets afwijken omdat er bijvoorbeeld voor sommige adressen geen bouwjaar bekend is of geen bodemtype.

Als proxy voor de constructie van een gebouw en haar bouwkundige staat is bouwjaar genomen. Als indicator voor de geofysische kenmerken van de bodem is bodemtype genomen. Gegevens over het bouwjaar zijn verkregen uit het BAG; gegevens over bodemtype zijn verkregen met behulp van de Bodemkaart 1:50000 (versie 2006).

Om een evenwichtige verdeling van de blootstelling te krijgen zijn er op basis van afstand, bouwjaar en bodemtype zestien strata gecreëerd. Een stratum is een deel van het onderzoeksgebied waarin woningen liggen met een vergelijkbaar bouwjaar, gebouwd op vergelijkbaar bodemtype en een vergelijkbare afstand tot het spoor. Om tot deze zestien strata te komen, zijn er voor afstand tot het spoor vier groepen gevormd: (i) woningen die op een afstand van minder dan 50 meter van het spoor liggen, (ii) woningen die op een afstand van 50 tot 100 meter van het spoor liggen, (iii) woningen die op een afstand van 100 tot 200 meter van het spoor liggen, en (iv) woningen die op een afstand van 200 tot en met 300 meter van het spoor liggen. Voor bouwjaar zijn twee groepen gevormd: (a) woningen die zijn gebouwd voor 1950, en (b) woningen die zijn gebouwd na 1950. Ook voor bodemtype zijn twee groepen gevormd: (i) woningen gebouwd op veengrond, en (ii) woningen die niet zijn gebouwd op veengrond. In Figuur B7.2 wordt de vorming van de zestien strata weergegeven. In rood is tevens het benodigde en het uiteindelijk geselecteerde aantal woningen weergegeven om zinvolle uitspraken te kunnen doen.



Figuur B7.2 Vorming van de zestien strata en aantallen per stratum.

De steekproef is getrokken uit de beschikbare woonadressen (BAG, 2012) per stratum. Daarbij kregen de woningen aan spoortracés waar volgens de PHS veel werkzaamheden en/of veranderingen te verwachten zijn een iets hogere trekkingskans toegewezen zodat deze tracés voldoende vertegenwoordigd zijn binnen de steekproef.
In stratum 1 (woningen die op minder dan 50 meter van het spoor liggen, die zijn gebouwd vóór 1950 en die op veengrond liggen) waren niet genoeg woonadressen beschikbaar (2000 nodig, 1664 aanwezig). Daarom werd in stratum 2 (woningen die op minder dan 50 meter van het spoor liggen, zijn gebouwd vóór 1950, maar niet op veengrond liggen) *oversampeld*: er werden

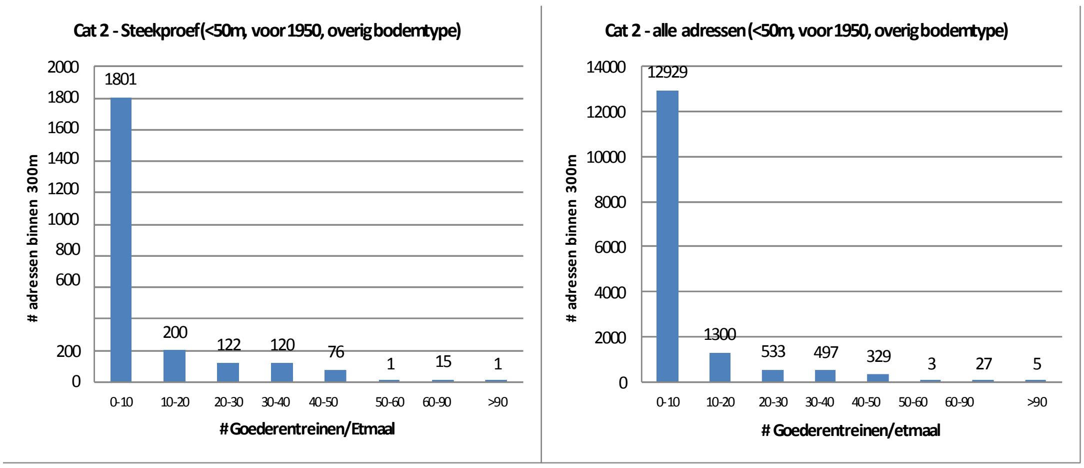
2336 adressen geselecteerd in categorie twee in plaats van 2000. Dit leverde een bruto steekproef van 16.000 adressen op.

Selectie op basis van andere fysiek-contextuele kenmerken
In aanvulling op de conditie van het gebouw en de geofysische kenmerken van de bodem en de afstand, worden de blootstelling en de aard van de trillingen ook bepaald door (i) de treineigenschappen (onder andere belading, (verandering in het) aantal treinen) en de rijsnelheid, (ii) de aanwezigheid van zaken langs het spoor zoals geluidsschermen en spoortunnels. Uit verschillende onderzoeken is ook gebleken dat het (waarnemen van) het geluid mogelijk ook van invloed is op de gerapporteerde hinder [14, 16, 17, 67]. De resultaten van

ĊÂ

eken zijn echter niet eenduidig.
De in de vorige stap geselecteerde 16.000 adressen zijn op een aantal van bovengenoemde aspecten vergeleken met het totaal aantal adressen in Nederland dat op 300 meter van het spoor ligt. Daartoe is voor elk adres informatie verzameld over: (i) het aantal passagiers en goederentreinen dat tijdens de verschillende periodes van een etmaal (dag, avond, of nacht) over het spoor rijdt (EU Kartering, 2011), (ii) de snelheid waarmee de treinen tijdens deze periodes over het spoor rijden, (iii) de veranderingen in aantallen treinen en snelheden in 2020 (Programma Hoogfrequent Spoor of PHS), (iv) de aanwezigheid van spoortunnels (Geluidregister), en (v) het gemodelleerde jaargemiddelde geluidniveau door treinverkeer (L_{den} en L_{night}-waardes) [38].

Vervolgens zijn de verdelingen van deze kenmerken over de geselecteerde adressen vergeleken met de verdelingen van deze kenmerken over het totaal aantal adressen in Nederland op 300 meter van het spoor. In Figuur B7.3 wordt een voorbeeld gegeven, het betreft het aantal goederentreinen per etmaal (zie voor een compleet overzicht Bijlage 10).



Figuur B7.3 Vergelijking verdeling # goederentreinen per etmaal in stratum 2 in steekproef en alle adressen.

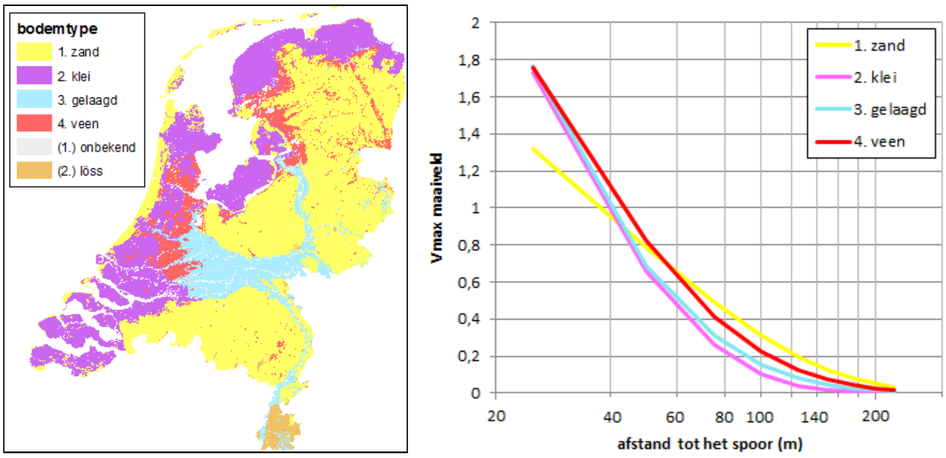
Na vergelijking bleek dat de verdeling van relevante kenmerken van de geselecteerde adressen vergelijkbaar waren met die van alle woonadressen tot 300 meter van het spoor. Dit geeft een indicatie dat de steekproef dus een goede afspiegeling van de werkelijkheid is.

Bijlage 8 Rekenmodel voor trillingen

In dit onderzoek is de Standaard RekenMethode voor Trillingen (SRM-T) gebruikt. Dit model is enkele jaren geleden ontwikkeld in een COB-project met bijdrages van TNO, TUD, Fugro, Deltares en Movares [37].
Met dit model is in heel Nederland de trillingssterkte berekend. Hiervoor is gebruikgemaakt van 24 afstandsrelaties en van de meest recente gegevens van het railverkeer, daterend uit 2011.

De 24 afstandsrelaties geven het verband tussen de trillingssterkte V_{max} (van het maaiveld) en de afstand tot het spoor voor 24 verschillende combinaties van bodem, treintype, en rijsnelheid.
De vier bodemtypes betreffen zand, klei, gelaagd en veen. Voor woningen die in gebieden staan met onbekende bodem is zand aangenomen en voor lössgronden is met ‘klei’ gerekend. In de SRM-T database is voor elk van deze vier bodemtypes een representatieve meetlocatie uitgezocht waarvan de voor SRM- T-berekeningen benodigde bodemkarakteristieken in detail beschikbaar zijn. Voor gelaagde bodem, die in het rivierengebied wordt aangetroffen, is de sondering van meetlocatie Tiel gebruikt. Voor zandbodem is het gemiddelde van meetlocaties Maasvlakte en Eindhoven genomen, voor veenbodem was Amsterdam de bron, terwijl Rotterdam en Groningen voor kleibodem model stonden.
De drie verschillende treintypes zijn lichte reizigerstreinen, zware reizigerstreinen, goederentreinen. In het algemeen is de trillingssterkte van goederentreinen hoger dan die van reizigerstreinen. Dit komt overigens niet doordat goederentreinen ‘zwaarder’ zijn dan reizigerstreinen – de aslast bij reizigers- en goederentreinen is juist zeer vergelijkbaar. Van belang is de onafgeveerde massa, die hoog is als bijvoorbeeld een zware motor in de draaistellen van locomotieven aanwezig is. Dit komt ook bij sommige types NS-treinen voor (o.a. de VIRM), met als gevolg dat ze ook hoge V_{max}-waarden genereren. Het rekenmodel houdt hiermee rekening door onderscheid te maken tussen lichte en zware reizigerstreinen.
De drie verschillende snelheden zijn 40, 90 en 140 km/h. De snelheid van 40 km/u is de snelheid die nabij stopstations wordt gereden. De doorgaande snelheid van goederentreinen bedraagt meestal 90 km/h, terwijl reizigerstreinen 140 km/h rijden.

Figuur B8.1 geeft een voorbeeld van vier van deze afstandsrelaties.



Figuur B8.1 Bodemtypes en afstandsrelaties (in dit geval voor goederentreinen bij 90 km/h).

De V_{max} is een maximumwaarde van de trillingen op een locatie. Dit maximum hangt in het algemeen niet sterk af van de lokale treinintensiteit, mits een voldoende lange periode wordt beschouwd. De Bts hanteert voor de bepaling van de V_{max} een meetperiode van één week. In dit onderzoek is uitgegaan van een vast aantal van 1000 reizigerstreinen (licht of zwaar) per week en 100 goederentreinen per week voor de 24 afstandsrelaties. Met andere woorden, de V_{max} op een locatie hangt in dit onderzoek niet af van het aantal treinen.

De RMS hangt wel af van het aantal treinen. Deze maat geeft immers de totale trillingsenergie op een locatie. In dit onderzoek is voor de RMS de gemiddelde wekelijkse treinintensiteit op een locatie gebruikt. De RMS is berekend uit de V_{max} op basis van de conversiematrix uit het CargoVibes-project [68].

Voor de intensiteiten (voor de RMS) en snelheden (voor zowel RMS als V_{max}) is gebruikgemaakt van het EU 2011-bestand van ProRail (geluidkartering EU-richtlijn, peiljaar 2011). Op spoorlijnen van regionale vervoerders is gerekend met lichte reizigerstreinen als trillingsbron. Op het hoofdrailnet (NS) is gerekend met 50% lichte en 50% zware reizigerstreinen. Als treinlengte is voor goederentreinen uitgegaan van een gemiddelde van twintig wagons van elk 15 meter lengte. Voor de gemiddelde reizigerstrein wordt als standaard zes rijtuigen van elk 26 meter lengte gehanteerd.

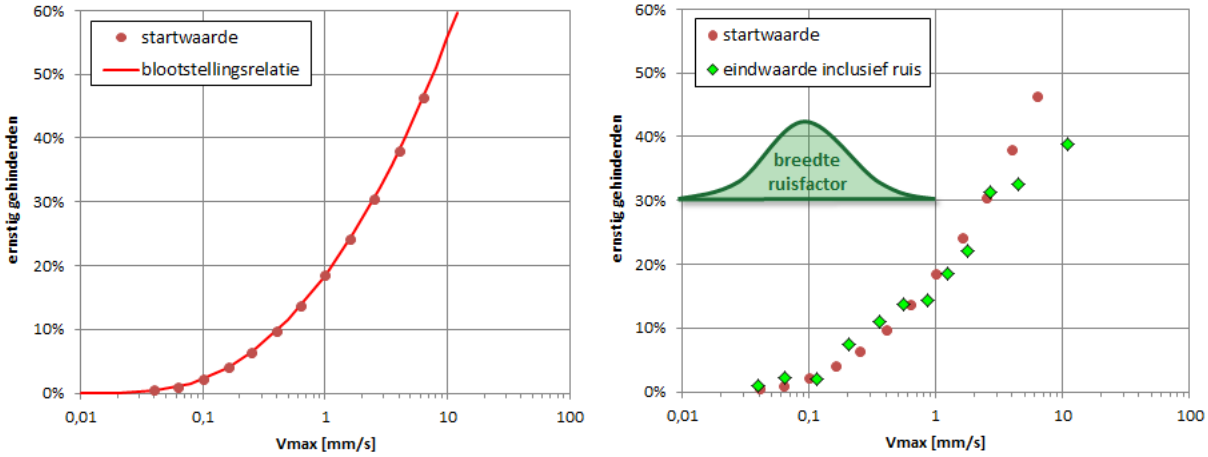
De V_{max} en RMS in de woningen is berekend door de maaiveldwaarde met 3,0 (houten vloer) respectievelijk 1,5 (stenen vloer) te vermenigvuldigen. Hiermee wordt de ‘opslingering’ op generieke wijze in rekening gebracht. Voor het vloertype is gebruikgemaakt van de antwoorden van de respondenten (voor de survey) dan wel van het bouwjaar (voor de omvangschatting in Nederland).

Bij de berekening van de V_{max} en RMS zijn in dit onderzoek om praktische redenen benaderingen en keuzen gemaakt. Per individuele woning zullen hierdoor vrij grote afwijkingen kunnen bestaan tussen de berekende blootstelling en de werkelijke blootstelling. Deze afwijkingen worden veroorzaakt door variaties in vloergedrag, gebouwconstructie, fundering, lokale bodemcondities, conditie van het spoor en type en snelheid van de treinen. Op basis van ervaring wordt geschat dat die afwijkingen maximaal een factor 10 bedragen. Voor een evaluatie van de blootstelling in Nederland hoeft dit echter geen bezwaar te zijn, omdat er wordt gemiddeld over grote aantallen adressen.

Het is echter mogelijk dat hierbij een systematische fout wordt geïntroduceerd die een (onbekende) bias op de blootstellingswaarden geeft."
De navolgende simulatie laat zien welke (beperkt) effect er is op de blootstelling-responsrelatie.

Het effect van bovengenoemde onnauwkeurigheid kan aan de hand van een simulatie inzichtelijk gemaakt worden. Hierbij gaan we uit van een fictieve blootstelling-responscurve, zie Figuur B8.2 aan de linker kant. De simulatie betreft een fictieve populatie van 4800 respondenten, waarvan de aantallen ernstig gehinderden en de V_{max} als volgt geconstrueerd zijn. De respondenten zijn eerst verdeeld in twaalf blootstellingsklassen van gelijke breedte. Voor elk adres is voor de V_{max} een random waarde gekozen binnen de klassegrenzen. Een adres is vervolgens gelabeld met 'ernstige hinder', ofwel met 'geen ernstige hinder'. Per klasse (met elk 400 adressen) correspondeert het percentage ernstige hinder exact met de curve. Dit is de startsituatie van de simulatie.

Vervolgens werd ruis toegevoegd aan de blootstellingswaarden. Hiertoe wordt elk van de V_{max}-waarden vermenigvuldigd met een random waarde *F* tussen 0,1 en 10 volgens een gaussische kansverdeling (zie de grafiek rechts). Met deze ruisfactor *F* wordt de onzekerheid gesimuleerd als gevolg van het feit dat de V_{max} berekend wordt met een onnauwkeurigheid van een factor 0,1 tot 10. Elk adres behoudt zijn label voor ernstige hinder, maar krijgt op deze wijze een maximaal 10 maal zo hoge of 10 maal zo lage V_{max}-waarde.
De adressen worden hierna opnieuw gesorteerd op V_{max}-waarde en ingedeeld in twaalf groepen met een gelijk aantal adressen. Per groep wordt het percentage ernstige hinder bepaald en uitgezet in de rechter grafiek. De groene ruiten geven de eindwaarde per groep.
Uit deze simulatie blijkt dat zo'n ruisfactor de blootstelling-responsrelatie vlakker laat verlopen. Er is een toename van de ernstige hinder voor lage V_{max} en een afname voor hoge V_{max}. Het effect op de totale curve is niet groot, ondanks de grootte van de gehanteerde ruisfactor.



Figuur B8.2 Simulatie van het effect van het toevoegen van een ruisfactor van 0,1 tot 10 in V_{max}.

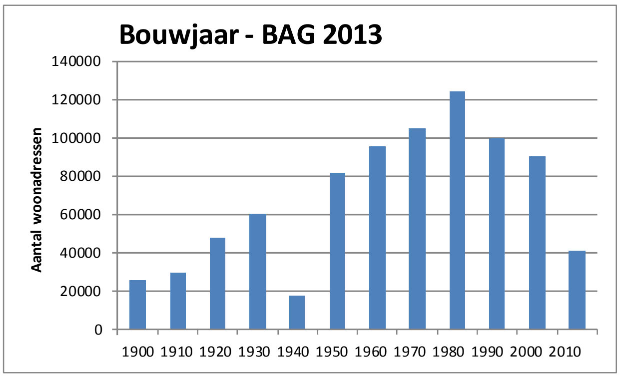
Bijlage 9 Tekstbox rekenvoorbeeld percentage ernstige gehinderd

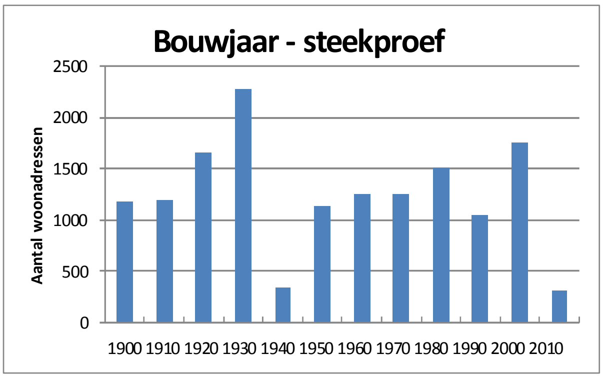
Tekstbox1: Rekenvoorbeeld percentage ernstig gehinderd

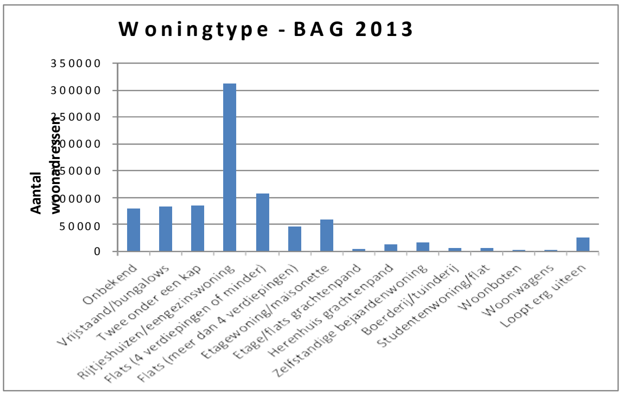
We gaan uit van een antwoordschaal van 0 tot 10, dus 11 antwoordcategorieën . Het percentage ernstige hinder wordt bepaald uit de scores van de individuele respondenten. De score van een respondent wordt als volgt bepaald:

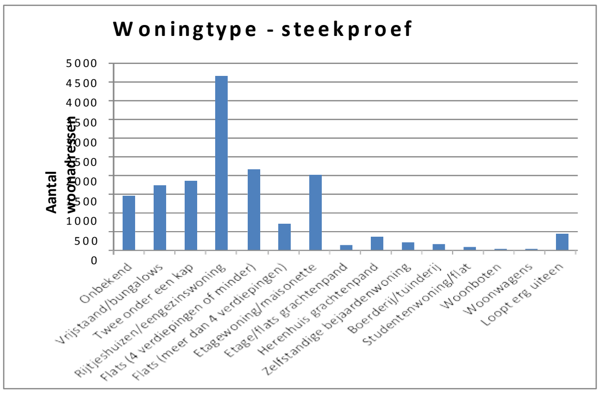
1. Respondenten in de categorieën 0 t/m 6 krijgen score 0 % op de variabele 'ernstige hinder'.
2. Respondenten in categorie 7 op een 11-puntsschaal krijgen de score 8 % op deze variabele (ernstige hinder). Dit komt als volgt tot stand: de antwoordcategorie '7' bevat de referentiewaarde (= 72: ernstige hinder). Het aandeel van categorie 7 dat boven de 72% 'scoort' wordt bepaald: de respondenten in categorie 7 krijgen de score ((72,73-72)/(72,73-63,64)) x 100 = 8 %.
3. Respondenten in de categorieën 8, 9 en 10 krijgen de score 100% op de variabele 'ernstige hinder'. 6 7/11 x 100=63,64 en 8/11 x 100 = 72,73 (schaalscore (x) gedeeld door aantal antwoordcategorieën (11) * 100%)

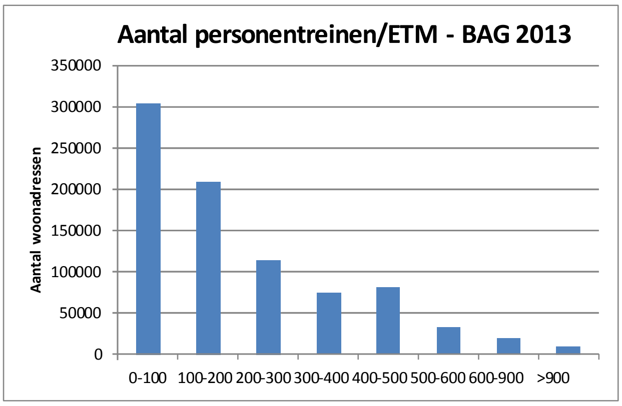
Bijlage 10 Vergelijking verdelingen in BAG en steekproef

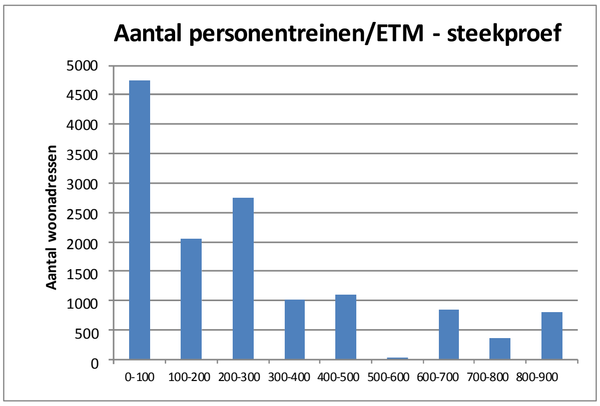


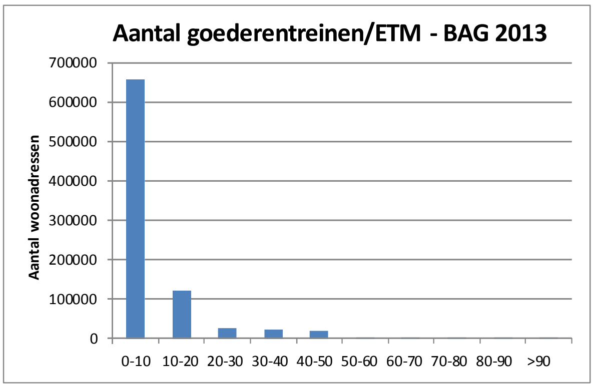


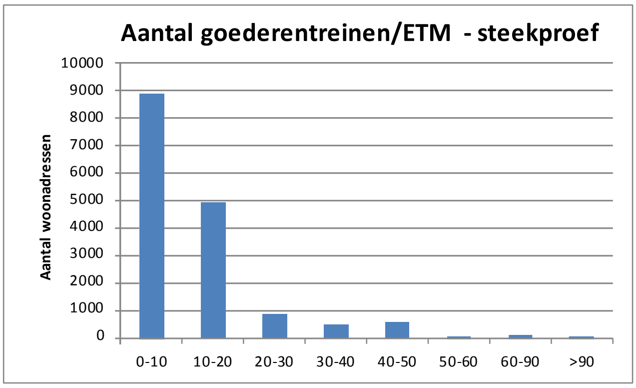


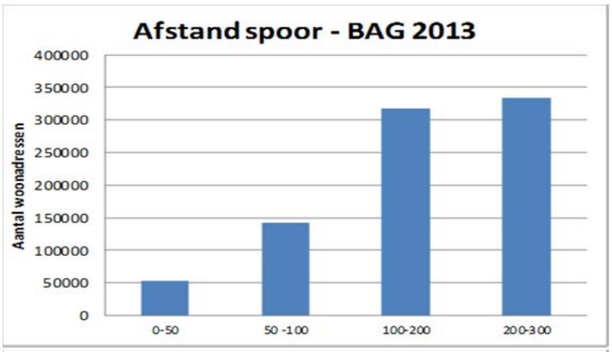


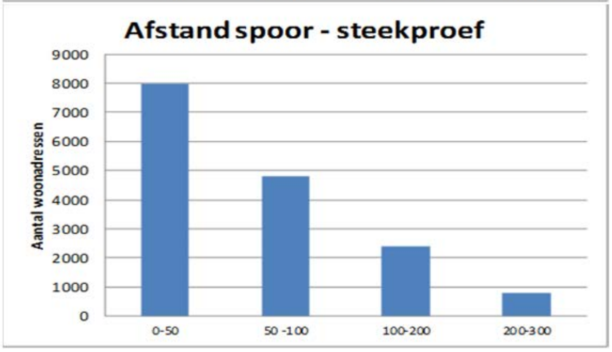





Aantal goederentreinen/ETM - BAG 2013
Aantal woonadressen
700000
600000
500000
400000
300000
200000
100000
0
0-10
10-20
20-30
30-40
40-50
50-60
60-70
70-80
80-90
>90


Aantal goederentreinen/ETM - steekproef
Aantal woonadressen
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
0-10
10-20
20-30
30-40
40-50
50-60
60-90
>90


Afstand spoor - BAG 2013
Aantal woonadressen
400000
350000
300000
250000
200000
150000
100000
50000
0
0-50
50 -100
100-200
200-300


Afstand spoor - steekproef
Aantal woonadressen
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
0-50
50 -100
100-200
200-300

RIVM

De zorg voor morgen begint vandaag